ESTUDIOS GEOFÍSICOS Y GEOTÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE PLATAFORMAS MARINAS Y LÍNEAS SUBMARINAS

HOJA DE APROBACIÓN

ELABORA:

ING. LUIS ORTIZ HERNÁNDEZ

COORDINADOR DEL GRUPO DE TRABAJO

PROPONE:

ING. JESÚS HERNÁNDEZ SAN JUAN

VICEPRESIDENTE DEL SUBCOMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE PEMEX-EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN

APRUEBA:

DR. RAÚL ALEJANDRO LIVAS ELIZONDO

PRESIDENTE DEL COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS

CONTENIDO

CAPÍTULO **PÁGINA**

0. INTRODUCCIÓN 7

1. OBJETIVO 7

2. ALCANCE 7

3. CAMPO DE APLICACIÓN 8

4. ACTUALIZACIÓN 8

5. REFERENCIAS 9

6. DEFINICIONES 9

7. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS 10

8. DESARROLLO 12

8.1 Estudios geofísicos y geotécnicos para líneas submarinas 12

8.1.1 Ruta preliminar 12

8.1.2 Embarcación 12

8.1.3 Equipo 13

8.1.3.1 Equipo de posicionamiento 13

8.1.3.2 Equipo para estudios geofísicos 13

8.1.3.3 Equipo para estudios geotécnicos 14

8.1.3.4 Calibración y prueba de equipo 15

8.1.4 Desarrollo del trabajo 15

8.1.4.1 Estudios geofísicos 15

8.1.4.2 Estudios geotécnicos 16

8.1.4.2.1 Muestreo 16

8.1.4.2.2 Manejo de muestras 16

8.1.4.2.3 Pruebas 16

8.1.4.2.3.1 Pruebas de laboratorio a bordo 16

CONTENIDO

CAPÍTULO **PÁGINA**

8.1.4.2.3.2 Pruebas en el sitio 17

8.1.5 Selección de la ruta definitiva 18

8.1.6 Elaboración de informe técnico 18

8.1.6.1 Informe técnico de campo 18

8.1.6.2 Informe técnico preliminar 18

8.1.6.3 Informe técnico final 18

8.1.7 Documentación y registros entregables 19

8.2 **Estudios geofísicos para plataformas** 20

8.2.1 Embarcación 20

8.2.2 Equipo 20

8.2.2.1 Equipo de posicionamiento 20

8.2.2.2 Equipo para estudios geofísicos 20

8.2.2.3 Equipo para muestreo 20

8.2.2.4 Calibración y prueba de equipo 20

8.2.3 Desarrollo del trabajo 20

8.2.3.1 Muestreo 21

8.2.3.2 Manejo de muestras 21

8.2.3.3 Pruebas de laboratorio a bordo 22

8.2.4 Elaboración de Informe técnico 22

8.2.5 Documentación y registros entregables 22

8.3 **Estudios geotécnicos para plataformas** 22

8.3.1 Embarcación 23

8.3.2 Equipo 23

8.3.2.1 Equipo de posicionamiento 23

CONTENIDO

CAPÍTULO **PÁGINA**

8.3.2.2 Equipo de perforación y muestreo 23

8.3.2.3 Calibración y prueba de equipo 24

8.3.3 Desarrollo del trabajo 25

8.3.3.1 Métodos de perforación y muestreo 25

8.3.3.2 Manejo de muestras 25

8.3.3.3 Pruebas de laboratorio a bordo 25

8.3.3.4 Pruebas en el sitio 25

8.3.3.5 Pruebas de laboratorio en tierra 26

8.3.4 Elaboración de Informe técnico 26

8.3.4.1 Informe técnico de campo 26

8.3.4.2 Informe técnico preliminar 27

8.3.4.3 Informe técnico final 28

8.3.5 Documentación y registros entregables 28

8.4 **Estudios geofísicos complementarios para plataformas autoelevables** 28

8.4.1 Embarcación 28

8.4.2 Equipo 29

8.4.2.1 Equipo de posicionamiento 29

8.4.2.2 Equipo para estudios geofísicos 29

8.4.2.3 Calibración y prueba de equipo 29

8.4.3 Desarrollo del trabajo 29

8.4.4 Elaboración de Informe técnico 30

8.4.4.1 Informe técnico preliminar 30

8.4.4.2 Informe técnico final 30

8.4.5 Documentación y registros entregables 31

CONTENIDO

CAPÍTULO **PÁGINA**

9. RESPONSABILIDADES 31

10. CONCORDANCIA CON NORMAS MEXICANAS O INTERNACIONALES 32

11. BIBLIOGRAFÍA 32

12. ANEXOS 34

Anexo A Figuras 34

Anexo B Información para estudios geofísicos 36

Anexo C Información para estudios geotécnicos 37

0. INTRODUCCIÓN

Petróleos Mexicanos, dentro de su esquema estratégico de operación y producción, cuenta con instalaciones marinas denominadas plataformas, en las que se desarrollan la explotación del petróleo crudo y del gas natural, del cual una parte del aceite producido es almacenado para su exportación y el excedente, junto con el gas, se envía a los centros de producción y transformación a través de ductos marinos de transporte, para comercializar el producto de tal manera que se obtengan divisas que redunden en beneficios colectivos al patrimonio nacional.

Petróleos Mexicanos, por medio de la Dirección de PEMEX Exploración y Producción, desarrolla programas estratégicos de diseño y construcción de plataformas y ductos marinos, para lo cual se requiere de la realización de estudios geofísicos y geotécnicos tanto para la perforación de los pozos, cimentaciones superficiales (plantillas), anclajes para monoboyas, corredores de líneas, así como de las áreas donde se deben localizar las plataformas, de tal manera que se disponga de la información del suelo marino necesaria para los diseños. Lo anterior para que dichas instalaciones operen en condiciones de eficiencia, seguridad y rentabilidad, asegurando la operación en sus diferentes fases, garantizando la seguridad del personal, de las instalaciones y del medio ambiente.

Con el objeto de unificar criterios, PEMEX Exploración y Producción emite a través de la Coordinación de Normalización (CN), esta norma de referencia de estudios geofísicos y geotécnicos de plataformas y líneas submarinas localizadas en el Golfo de México.

Este documento normativo se realizó en atención y cumplimiento a:

Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.
Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas y su Reglamento.
Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público y su Reglamento.
Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento.
Guía para la Emisión de Normas de Referencia de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios (CNPMOS-001, 30 septiembre 2004).

En esta norma participaron:

PEMEX-Exploración y Producción.
Instituto Mexicano del Petróleo
Fugro-McClelland, Marine Geosciences, Inc.
Comacoe Coastal Marine Construction and Engineering, Ltd.

1. OBJETIVO

Establecer los requisitos técnicos y documentales que se deben cumplir en la contratación de servicios para la realización de los estudios geofísicos y geotécnicos para la instalación de plataformas marinas y líneas submarinas localizadas en el Golfo de México.

2. ALCANCE

Esta norma de referencia 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, de plataformas

marinas fijas y autoelevables, incluyendo las características de la embarcación y equipo para los levantamientos geofísicos, obtención y manejo de muestras, pruebas de laboratorio a bordo y en tierra, pruebas en sitio, elaboración del informe técnico y documentación entregable que se realizan previo a la instalación de las estructuras marinas en el Golfo de México.

Esta norma de referencia se limita para estudios geofísicos y geotécnicos en tirantes de agua de 8 m (26,3 pies) a 200 m (656,2 pies).

3. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma de referencia es de aplicación general y observancia obligatoria en la contratación de los servicios objeto de la misma, que lleven a cabo los centros de trabajo de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios por las compañías contratistas y prestadores de servicios que desarrollen y/o ejecuten trabajos relacionados con dicho objeto. Por lo tanto debe ser incluida en los procedimientos de contratación: licitación pública, invitación a cuando menos tres personas o adjudicación directa, como parte de los requisitos que debe cumplir el proveedor, contratista o licitante, y en su caso, el interesado.

Esta norma de referencia es de aplicación en todas las áreas que utilicen o especifiquen estudios geofísicos y geotécnicos para instalación de plataformas y líneas submarinas para Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios en el Golfo de México.

4. ACTUALIZACIÓN

Esta norma de referencia se debe revisar y en su caso modificar al menos cada 5 años o antes si las sugerencias y recomendaciones de cambio lo ameritan.

Las sugerencias para la revisión y actualización de esta norma, deben enviarse al Secretario del Subcomité Técnico de Normalización de PEMEX Exploración y Producción, quien debe programar y realizar la actualización de acuerdo a la procedencia de las mismas y en su caso, inscribirla dentro del Programa Anual de Normalización de Petróleos Mexicanos, a través del Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

Las propuestas y sugerencias de cambio deben elaborarse en el formato CNPMOS-001-A01 de la Guía para la Emisión de Normas de Referencia CNPMOS-001-A01, Rev. 1 del 30 de septiembre de 2004 y dirigirse a:

PEMEX-Exploración y Producción.
Subdirección de Distribución y Comercialización.
Coordinación de Normalización.
Bahía de Ballenas 5, Edificio “D”, PB., entrada por Bahía del Espíritu Santo s/n.
Col. Verónica Anzures, México D. F., C. P. 11 300
Teléfono directo: 1944-9286
Conmutador: 1944-2500 extensión 380-80, Fax: 3-26-54
Correo Electrónico: lortizh@pep.pemex.com

5. REFERENCIAS

No aplica.

6. DEFINICIONES

6.1 Alta resolución: Técnica basada en el método de reflexión sísmica, para obtener información de la columna de agua y del fondo y subsuelo marinos.

6.2 Batimetría: Rama de la oceanografía que trata de la determinación de las profundidades de los fondos oceánicos y marinos. Con los resultados de la exploración batimétrica de una zona marina se trazan los mapas batimétricos constituidos por curvas de nivel de valores negativos respecto al nivel del mar.

6.3 Calado: Distancia vertical desde la línea de flotación hasta la parte más baja de la embarcación.

6.4 Corrientímetro: Equipo utilizado para medir velocidades de corriente.

6.5 Ecosonda: Equipo medidor del tirante de agua, a través de ondas acústicas de alta frecuencia. Mide exclusivamente la distancia entre su transductor y el lecho marino.

6.6 Equivalente: Documento normativo nacional o extranjero (Norma, Código, Especificación, Estándar o Práctica Recomendada) que no es Norma Oficial Mexicana (NOM), Norma Mexicana (NMX), o Norma Internacional (ISO o IEC) y que contiene, como mínimo los parámetros y conceptos que se requieren evaluar y que se establecen como requisitos, además de valores y características (físicas, químicas, fisicoquímicas, mecánicas o de cualquier naturaleza) iguales o mejores a las del documento normativo al que hace referencia la presente norma.

6.7 Eslora: Longitud de la embarcación (distancia entre la proa y la popa).

6.8 Fluido de perforación: Fluido utilizado durante los trabajos de perforación de sondeos geotécnicos y que tiene como finalidad ademar las paredes del sondeo y la limpieza de la perforación.

6.9 Litología: Materia que estudia la composición y formación de los suelos.

6.10 Manga: Ancho de la embarcación (distancia transversal de estribor a babor).

6…... Milla.- Se refiere a milla náutica que equivale a…..

6.11 Muestra alterada: Material de suelo obtenido por medios que modifican en forma drástica la estructura del suelo.

6.12 Muestra inalterada: Material de suelo o roca que al recuperarse en campo conserva las condiciones naturales de un suelo.

6.13 Muestreador: Equipo con el que se extraen muestras de suelo o roca.

6.14 Perfilador: Equipo empleado para obtener perfiles estratigráficos por medio de las ondas acústicas que genera un equipo electromecánico.

6.15 Resolución: Es la capacidad de detalle de la señal y depende de la longitud del pulso acústico.

6.16 Sedimentos no consolidados: Son sedimentos de suelos con una alta relación de vacíos y por lo tanto con un alto contenido de agua y baja capacidad de carga.

6.17 Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Es un sistema utilizado para determinar la posición de un punto en tierra mediante señales satelitales.

6.18 Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS): Es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) al cual se le añade una estación de referencia local para mejorar la aproximación de los datos.

6.19 Sonar: Equipo emisor y receptor de ondas acústicas en base a la energía eléctrica que produce presión y viceversa.

6.20 Sonar de barrido lateral: Equipo de alta resolución para explorar el fondo marino, determinar su topografía y localizar cualquier tipo de objeto que yace en el mismo.

6.21 Transductor: Es un transformador que contiene los cristales piezoeléctricos y está acoplado al generador de pulsos eléctricos, el cual es capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica y viceversa.

6.22 Tubería guía: Tubería utilizada para ademar la perforación, conducir el muestreador y los equipos para la ejecución de pruebas de campo y la recirculación de lodos.

6.23 Tubo de pared delgada: Muestreador utilizado para la obtención de materiales que desde el punto de vista de la geotécnia se consideran inalterados (suelos blandos).

6.24 Tubo partido: Muestreador utilizado para obtener muestras alteradas en materiales granulares.

6.25 Tubo Shelby: Muestreador utilizado para obtener muestras inalteradas en suelos cohesivos normalmente consolidados.

6.26 Velocímetro de sonido en el agua: Equipo para definir la velocidad del sonido en el agua para utilizar en la interpretación de los diferentes registros.

7. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

API American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo).

ASTM American Society of Testing Materials (Sociedad Americana de Pruebas de Materiales).

BS British Standard (Estándar Británico).

CP Caballos de Potencia (Horse Power)

DC Esfuerzos desviadores cíclicos.

DGPS Differential Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial).

DN Nominal Size (Diámetro nominal).

ema Entidad Mexicana de Acreditación.

G Módulo de rigidez al corte del suelo.

GPS Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global).

IACS International Association of Classification Societies (Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación).

IF Internal Flush (Desalojo interno).

ISO International Organization for Standarization (Organización Internacional de Estandarización).

NPS Nominal Pipe Size (Diámetro Nominal de Tubería)

NRF Norma de Referencia.

PEMEX Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

PEP PEMEX Exploración y Producción.

P-Y Curva resistencia del suelo-deformación lateral.

SI Sistema Internacional.

SPT Standard Penetration Test (Prueba de penetración estándar).

SRD Stress Resistance Driving (Curva de resistencia del suelo al hincado).

SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

T-Z Curva resistencia del suelo-desplazamiento axial.

UTM Sistema Universal Transverso de Mercator.

ºC Grados centígrados.

cm Centímetros.

kg Kilogramo.

kHz Kilohertz.

km Kilómetros.

kPa Kilopáscal.

lb Libras.

m Metros.

m/s Metro por segundo.

t Tonelada métrica.

8. DESARROLLO

8.1 Estudios geofísicos y geotécnicos 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.

8.1.1 Ruta preliminar

La información de la ruta preliminar de la línea submarina debe ser proporcionada por PEP, según necesidades del proyecto.

8.1.2 Embarcación

La embarcación para realizar los estudios geofísicos y geotécnicos 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.

Característica	Mínimo
Eslora total	40 m
Manga	8 m
Calado	3 m
Máquinas 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.

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. La figura A1 del Anexo A, muestra el arreglo típico que debe tener el barco para la realización de estos estudios.

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

8.1.3 Equipo

8.1.3.1 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 ininterrumpido 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.

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

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; general-mente 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

8.1.3.3 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

Tabla 3 Características del equipo de cono

8.1.3.4 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.

8.1.4 Desarrollo del trabajo

8.1.4.1 Estudios geofísicos - 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 1), 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.

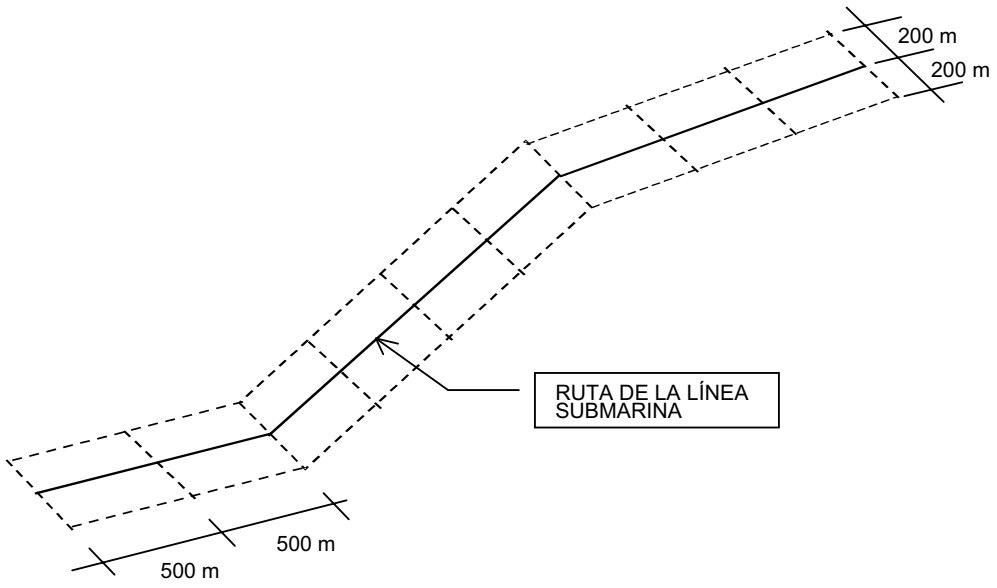

Figura 1 Retícula de recorridos de la embarcación para estudios geofísicos

8.1.4.2 Estudios geotécnicos

8.1.4.2.1 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.

8.1.4.2.2 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.

8.1.4.2.3 Pruebas

8.1.4.2.3.1 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 corredores y para plataformas	
Pruebas Indice y de Clasificación	
Descripción y clasificación del suelo.	SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), ASTM D 2487 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
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 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.

8.1.4.2.3.2 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 ensayes 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.

8.1.5 Selección de la ruta definitiva

Con base en la información obtenida de los estudios geofísicos y geotécnicos 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.

8.1.6 Elaboración de Informe técnico

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

8.1.6.1 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.

8.1.6.2 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.

8.1.6.3 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.

8.1.7 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

8.2 Estudios geofísicos para plataformas

El 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.

8.2.1 Embarcación

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 y en el numeral 8.1.2

8.2.2 Equipo

8.2.2.1 Equipo de posicionamiento - El equipo de posicionamiento a utilizar en la realización de los estudios geofísicos de plataformas debe cumplir con lo indicado en el numeral 8.1.3.1

8.2.2.2 Equipo para estudios geofísicos - Los equipos utilizados en los estudios geofísicos para plataformas deben cumplir con lo indicado en el numeral 8.1.3.2, así como con lo siguiente:

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 cm^3 (80 $pulg^3$). 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). 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.

8.2.2.3 Equipo para muestreo - Para la realización del muestreo de los estudios geofísicos, se debe contar como mínimo con el equipo indicado en el numeral 8.1.3.3

8.2.2.4 Calibración y prueba de equipo - La calibración y prueba del equipo utilizado en los estudios geofísicos de las plataformas debe cumplir con lo indicado en el numeral 8.1.3.4

8.2.3 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 2), 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.

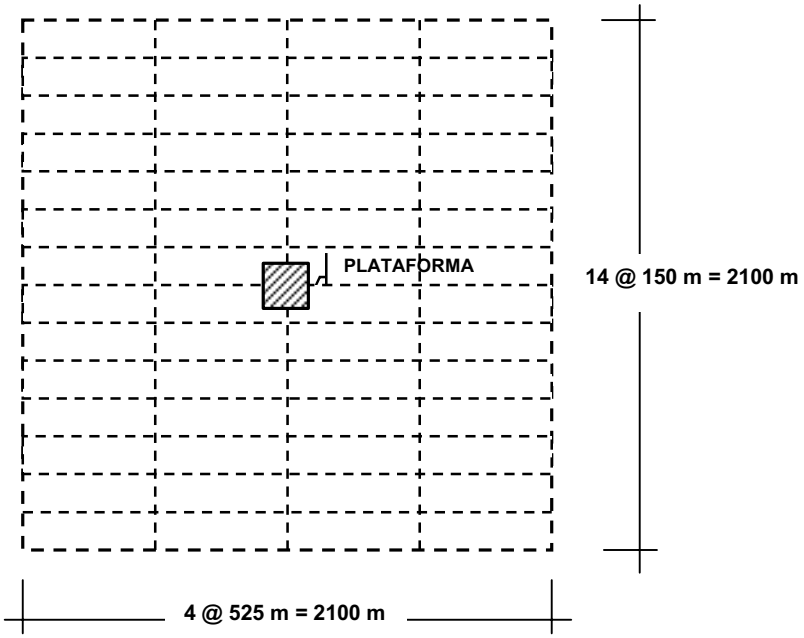

Figura 2 Retícula de recorridos de la embarcación para estudios geofísicos

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.

8.2.3.1 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.

8.2.3.2 Manejo de muestras - El manejo de muestras debe realizarse cumpliendo con lo indicado en 8.1.4.2.2

8.2.3.3 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 en el numeral 8.1.4.2.3.1.

8.2.4 Elaboración de Informe técnico

El contratista debe entregar los informes técnicos de campo, preliminares y finales, de los levantamientos geofísicos, cumpliendo con lo indicado en el numeral 8.1.6. Para el caso del informe técnico final, éste debe de cumplir con lo indicado el numeral 8.1.6.3, además de lo siguiente:

a) **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.
b) **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.
c) **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 deben trazar perfiles estratigráficos que las intersecten. 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.

8.2.5 Documentación y registros entregables

El contratista debe entregar al área solicitante de PEP lo indicado en 8.1.7

8.3 Estudios geotécnicos para plataformas

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.

8.3.1 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. La Figura A2 del Anexo A muestra el arreglo típico que debe tener el barco para la realización de los estudios geotécnicos.

Característica	Mínimo
Eslora total	40 m
Manga	12 m
Calado	4 m
Máquinas principales (2)	1 200 CP
Impulsor de proa (1)	250 CP
Sistema de anclaje (*)	4 anclas o Posicionamiento Dinámico
Velocidad	12 Nudos

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

Tabla 5 Características de la embarcación geotécnica

8.3.2 Equipo

8.3.2.1 Equipo de posicionamiento - El equipo de posicionamiento a utilizar en la realización de los estudios geotécnicos de plataformas debe cumplir con lo indicado en el numeral 8.1.3.1

8.3.2.2 Equipo de perforación y muestreo - Para la realización de los levantamientos geotécnicos se debe contar como mínimo con el siguiente equipo:

a) Perforadora y sus accesorios, con capacidad para operar a bordo de embarcaciones y en ambiente marino.
b) Torre de perforación de al menos 7 m (23 pies) de longitud, acondicionada con sistema compensador de movimientos verticales que permita una compensación mínima de 2,13 m (7 pies).
c) Tubería de perforación y muestreo IF (Internal Flush) de 12,7 cm (5 pulg.) de diámetro exterior, con abastecimiento para alcanzar la profundidad de perforación requerida, que cumpla con lo indicado en el API-5AX o equivalente.
d) Planta de lodos y accesorios.
e) Barrenas de centro abierto.
f) Equipo muestreador por percusión (cable guía).
g) Equipo muestreador por presión.
h) Tubo muestreador para suelos finos de pared delgada de 6,98 cm (2 3/4 pulg.) de diámetro interior y 7,62 cm (3 pulg.) de diámetro exterior, hincado por presión.
i) Tubo muestreador de pared delgada de 5,40 cm (2 1/8 pulg.) de diámetro interior y 5,71 cm (2 1/4 pulg.) de diámetro exterior, para suelos finos, hincado por percusión.
j) Tubo muestreador para suelos granulares de 5,08 cm (2 pulg.) de diámetro exterior, por el método SPT por cable guía o en su defecto la justificación técnica para utilizar otro método compatible con el SPT.
k) 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 lo indicado en la Tabla 3.

m) 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.
n) 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.
o) Laboratorio de campo, acondicionado con el siguiente equipo:
   - o1 Cuarto con sistema de control de humedad y temperatura para conservación de las muestras.
   - o2 Banco de trabajo
   - o3 Veleta miniatura
   - o4 Penetrómetro de bolsillo
   - o5 Equipo para ensayos triaxiales (cámara triaxiales).
   - o6 Torcómetro.
   - o7 Marco de carga.
   - o8 Horno.
   - o9 Balanza de precisión.
   - o10 Extractor hidráulico de muestras.
   - o11 Equipo de empaque de muestras que garantice su integridad física y mecánica.
p) Laboratorio de mecánica de suelos en tierra acondicionado con el siguiente equipo.
   - p1 Cuarto con sistema de control de humedad y temperatura para conservación de las muestras.
   - p2 Horno.
   - p4 Capsulas
   - p4 Bancos de trabajo
   - p5 Veleta miniatura.
   - p6 Penetrómetro de bolsillo
   - p7 Equipo para ensayos triaxiales (cámara triaxial).
   - p8 Consolidometros
   - p9 Torcómetro.
   - p10 Marco de carga.
   - p11 Balanza de precisión.
   - p12 Copa de Casagande.
   - p13 Extractor hidráulico de muestras.
   - p14 Equipo para determinar el contenido de carbonatos
   - p15 Equipo de empaque de muestras que garantice su integridad física y mecánica
   - p16 Mallas desde la No. 4 a la No. 200
   - p17 Hidrómetro graduado
   - p18 Vaporera para matraz
   - p19 Corte simple directo
   - p20 Corte simple cíclico (con deformación controlada).
   - p21 Corte simple cíclico (con esfuerzo controlado).
   - p22 Triaxial cíclica (con deformación controlada).
   - p23 Columna resonante.
   - p24 Laboratorio de rayos x

8.3.2.3 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 distribuidor autorizado o por una casa certificadora acreditada por la “ema” o internacional reconocida por esta.

8.3.3 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.

8.3.3.1 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.

8.3.3.2 Manejo de muestras - Las muestras deben ser extraídas, empacadas, 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.

8.3.3.3 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 en el numeral 8.1.4.2.3.1

8.3.3.4 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 8.3.3.1, 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.

8.3.3.5 Pruebas de laboratorio en tierra - Se deben realizar en tierra, las pruebas de laboratorio indicadas en la Tabla 6, 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 6.

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.

8.3.4 Elaboración de informe técnico

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

8.3.4.1 Informe técnico de campo - El contratista debe entregar al representante de PEP a bordo un informe técnico de campo de acuerdo a lo indicado en el numeral 8.1.6.1. Adicionalmente a lo indicado en dicho punto, el contratista debe entregar el registro del corrientímetro, en su caso.

8.3.4.2 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

Tipo de prueba	Estándar
Pruebas Índice y de Clasificación	
Descripción y clasificación del suelo.	SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), ASTM D 2487 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 dinámicas	
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 6 Pruebas de laboratorio en tierra

8.3.4.3 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 sensitividad 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.

8.3.5 Documentación y registros entregables

El contratista debe entregar al área solicitante de PEP lo indicado en 8.1.7

8.4 Estudios geofísicos complementarios para plataformas auto elevables.

8.4.1 Embarcación

La embarcación para realizar los estudios geofísicos de la zona de ubicación de la plataforma auto elevable, debe cumplir con las características y requerimientos mínimos que se indican en la Tabla 1 y en el numeral 8.1.2

8.4.2 Equipo

8.4.2.1 Equipo de posicionamiento - El equipo de posicionamiento a utilizar en la realización de los estudios geofísicos de plataformas auto elevables debe cumplir con lo indicado en el numeral 8.1.3.1

8.4.2.2 Equipo para estudios geofísicos - Los equipos utilizados en los estudios geofísicos para plataformas auto elevables deben cumplir con lo indicado en el numeral 8.1.3.2, incisos a, b y c y sus características indicadas en la tabla 2.

8.4.2.3 Calibración y prueba de equipo - La calibración y prueba del equipo utilizado en los estudios geofísicos de las plataformas auto elevables debe cumplir con lo indicado en el numeral 8.1.3.4

8.4.3 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, considerando el estudio a 300 m (0,186 millas) por lado, tomando como origen el centro de la plataforma autoelevable.

Se debe trazar una retícula para los recorridos de la embarcación, la cual debe consistir de líneas paralelas equidistantes a cada 100 m (0,062 millas) (3 en total), y líneas equidistantes perpendiculares a las anteriores a cada 300 m (0,186 millas) (2 líneas), la orientación de la retícula debe ser definida por PEP antes de iniciar los trabajos (ver figura 3). En caso de desarrollar los trabajos para más de una localización en la misma plataforma fija donde las superficies a estudiar se traslapan, los levantamientos se deben realizar en una superficie total, cuya área debe determinarse conjuntamente con el representante de PEP.

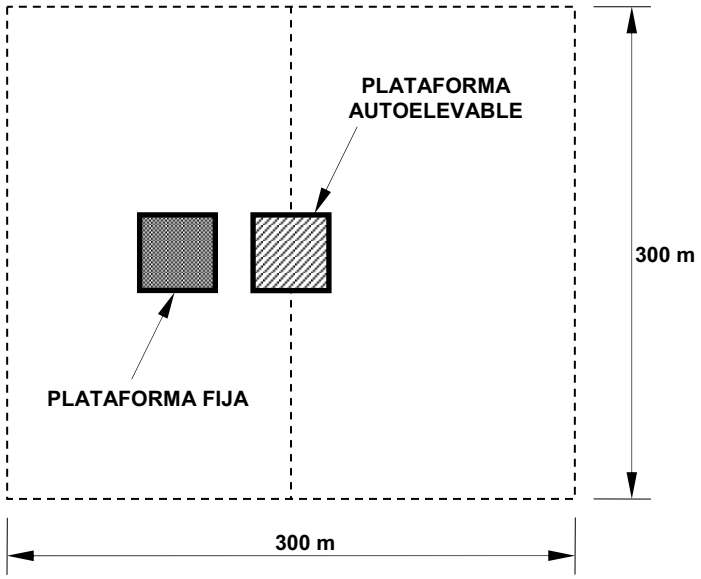

Figura 3 Retícula de recorridos de la embarcación para estudios geofísicos de plataformas autoelevables

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.

8.4.4 Elaboración de Informe técnico

8.4.4.1 Informe técnico preliminar - El contratista debe entregar un informe preliminar, conteniendo los hallazgos más relevantes en el lecho marino que pudiera poner en riesgo o limitar el posicionamiento de una plataforma auto elevable. Dicho informe debe incluir la información indicada en el punto B.1 y B.3 del Anexo B de esta norma de referencia. El tiempo de entrega de este informe debe estar definido en las bases del contrato correspondiente.

8.4.4.2 Informe técnico final - El tiempo de entrega del informe técnico final está definido en las bases del contrato correspondiente y debe cumplir con lo siguiente:

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 de los hallazgos encontrados y registros obtenidos en campo.
4) **Planos.** La elaboración de los planos o mapas, debe basarse en la interpretación de los registros levantados en campo y deben ser el complemento del reporte 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.

   Los planos a proporcionar son los siguientes:

   a) **Batimétrico.** El plano batimétrico debe contener las curvas batimétricas con equidistancias no mayores a 0,50 m (19,68 pulg.), referidas al nivel del mar. En zonas con pendientes menores de 1%, la equidistancia de las curvas debe ser de 0,25 m (9,84 pulg.). 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 (131.2 pies), dependiendo de las características del terreno.
   d) **Peligros potenciales.** En este plano se deben indicar las posibles zonas que puedan presentar problemas para el posicionamiento de la plataforma auto elevable. 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 del área.
   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.

Los planos indicados en los incisos anteriores se deben dibujar a una escala 1:500 y los perfiles interpretativos, con escala horizontal 1:500 y vertical 1:200.

5) **Información.** Se debe anexar la relación de información requerida en el punto B.1, B.2; B.3 y B.4 inciso a), del Anexo B de esta norma.
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 y los registros originales del equipo electrónico.

El reporte final debe incluir las limitaciones en la precisión de la información, así como proporcionar comentarios relevantes al posicionamiento de la plataforma auto elevable.

8.4.5 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) Informe técnico preliminar
c) Informe técnico definitivo

9. RESPONSABILIDADES

9.1 Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

Aplicar los requisitos y recomendaciones de esta norma, en las actividades de realización de los estudios geofísicos y geotécnicos para la instalación de plataformas marinas y líneas submarinas, así como verificar su cumplimiento, para asegurarse que los trabajos han sido cumplidos a satisfacción en forma eficiente y segura.

La verificación del cumplimiento de esta norma, debe ser realizada por el área usuaria, verificando y atestiguando los trabajos realizados y su conformidad con los resultados registrados.

9.2 Subcomité Técnico de Normalización de PEMEX Exploración y Producción.

Establecer comunicación con las áreas usuarias de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, así como con prestadores de servicios, para mantener su contenido y requerimientos actualizados, con el fin de asegurar que las operaciones llevadas a cabo para la realización de estos estudios, se ejecuten de manera confiable y segura.

9.3 Contratistas y prestadores de servicio.

Cumplir como mínimo con los requerimientos especificados en esta norma, así como proponer mejoras al documento, conforme a los avances tecnológicos, para mantener actualizado su contenido.

10. CONCORDANCIA CON NORMAS MEXICANAS O INTERNACIONALES

Esta norma de referencia no concuerda con ninguna norma mexicana o internacional.

11. BIBLIOGRAFÍA

Esta norma de referencia se fundamenta con las referencias técnicas bibliográficas que se indican a continuación:

11.1 API RP 2A-WSD-2000 - Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design (Práctica recomendada para la Planeación, Diseño y Construcción de plataformas fijas costafuera).

11.2 API 5AX-1987 - Specification for high-strength casing, tubing and drilling pipe (Especificación para tubería de perforación de alta resistencia).

11.3 ISO 19901-4-2003 - Petroleum and natural gas industries - Specific requirements for offshore structures - Part 4: Geotechnical and foundation design considerations (Industrias del petróleo y el gas natural – Requerimientos específicos – Parte 4: Consideraciones geotécnicas y de diseño de cimentaciones).

11.4 BS 1377-2 - Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes Part 2: Classification Tests -AMD 9027; May 15, 1996 (Métodos de prueba para suelos para propósitos de ingeniería civil Parte 2: Pruebas de Clasificación-AMD 9027).

11.5 Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (texto S.O.L.A.S., 1992).

ESPECIFICACIONES ASTM

11.6 ASTM D 422-02 - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils (Método estándar de prueba para el análisis del tamaño de las partículas del suelo).

11.7 ASTM D 854-02 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer (Método estándar de prueba para la gravedad específica de los suelos sólidos)

11.8 ASTM D 1140-00 - Standard Test Methods for Amount of Materials in Soils Finer Than the No. 200 Sieve (Método estándar de prueba para la cantidad de material de suelo más fino que la malla No. 200)

11.9 ASTM D 2216-05 - Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass (Método estándar de prueba de laboratorio para la determinación del contenido de agua en suelos y rocas).

11.10 ASTM D 2435-04 - Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading (Método estándar de prueba para determinar propiedades de consolidación uni-dimensional de suelos, utilizando incremento de carga).

11.11 ASTM D 2487-06 - Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (Estándar práctica para la clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)).

11.12 ASTM D 2573-01 - Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil (Método estándar de prueba para veleta cortante de campo en suelos cohesivos).

11.13 ASTM D 2850-03 - Standard Test Method for Unconsolidated-Untrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils (Método estándar de prueba de compresión triaxial no-drenada no-consolidada en suelos cohesivos).

11.14 ASTM D 3080-04 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions (Método estándar de prueba para corte directo bajo condición de suelo consolidado drenado).

11.15 ASTM D 3441-05 - Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil (Método estándar de prueba para la penetración mecánica de cono del suelo)

11.16 ASTM D 4015-92 - Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by the Resonant-Column Method (Métodos estándar de prueba para el modulo y amortiguamiento de suelos por el método de columna resonante.

11.17 ASTM D 4318-05 - Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils (Métodos estándar de pruebas para límite líquido e índice de plasticidad de suelos).

11.18 ASTM D 4373-02 - Standard Test Method for Rapid Determination of Carbonate Content of Soils (Método estándar de prueba para la determinación rápida del contenido de carbonatos de suelos).

11.19 ASTM D 4648-05 - Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil (Método estándar de prueba de laboratorio de veleta miniatura en suelo arcilloso de grano fino).

11.20 ASTM D 6528-00 - Standard Test Method for Consolidated Untrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils (Método estándar de prueba de corte simple directo de suelos cohesivos consolidados no drenados).

ESPECIFICACIONES PEMEX

11.21 P.2.0161.02 - Estudios geotécnicos para instalación de plataformas marinas

11.22 P.2.161.01 - Estudios geofísicos para instalación de plataformas marinas

11.23 P.2.163.01 - Estudios geofísicos para instalación de tuberías submarinas

11.24 P.2.0163.02 - Estudios geotécnicos para instalación de tubería submarina

12. ANEXOS

Anexo A Figuras

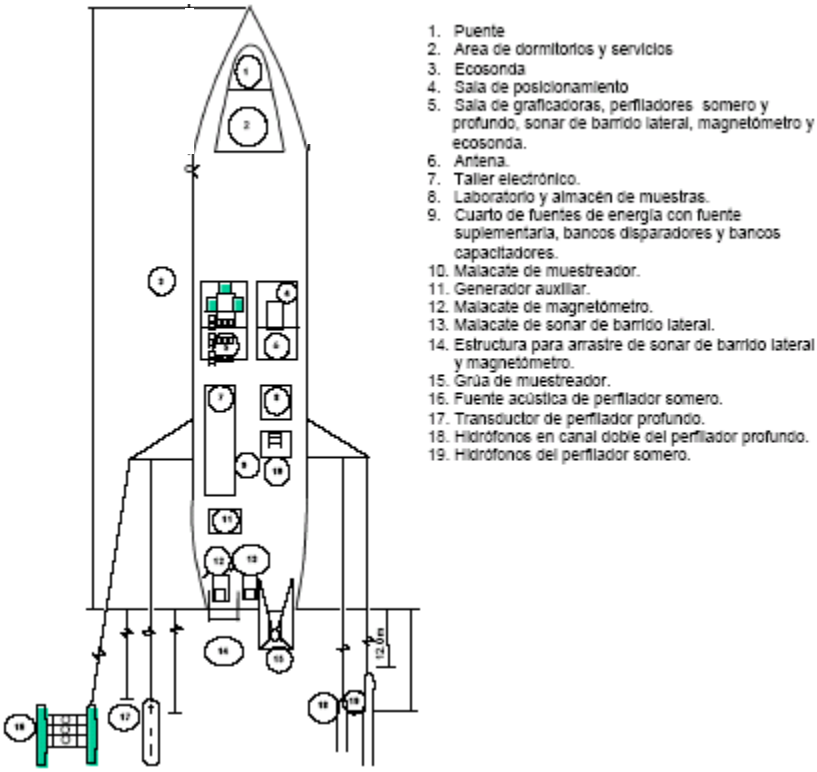

Figura A1 Arreglo típico del barco para estudios geofísicos

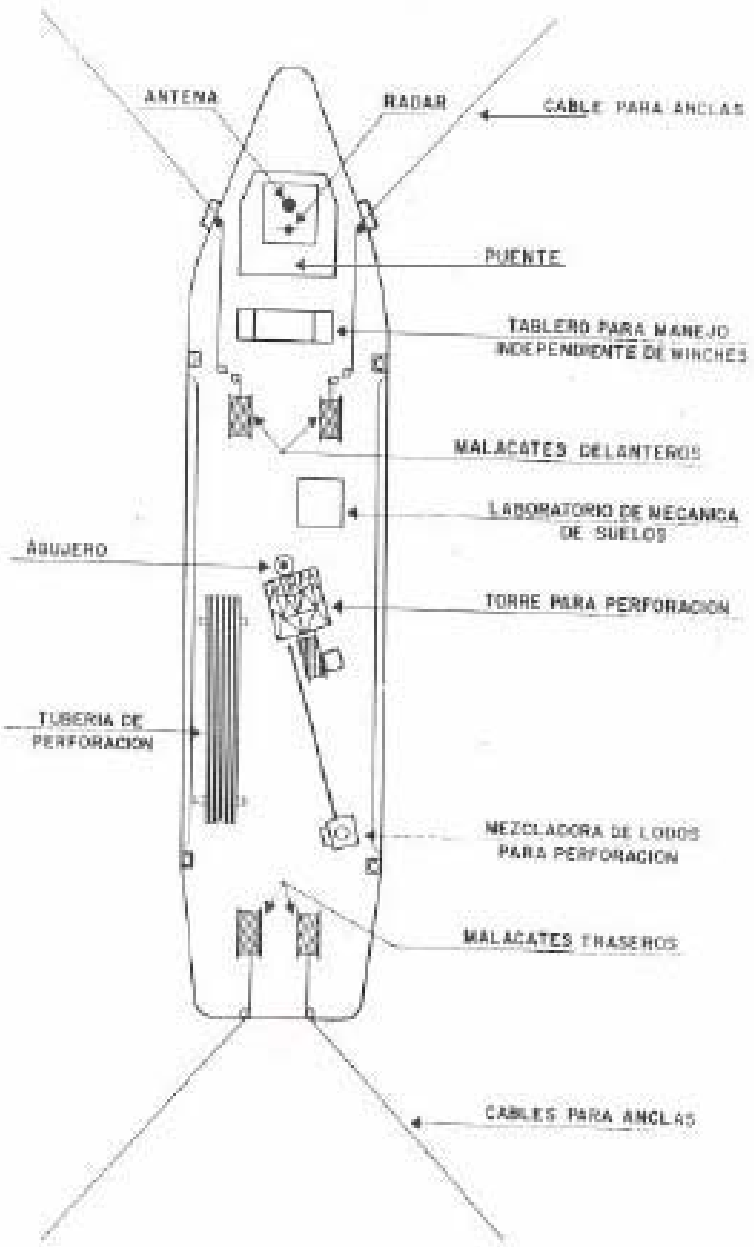

Figura A2 Arreglo típico del barco para estudios geotécnicos de plataformas

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.
e) Fecha de realización del estudio.
f) 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:
   b1) Método de muestreo de sedimentos superficiales.
   b2) Equipo de muestreo utilizado.
   b3) Número de muestreos realizados.
   b4) Localización en coordenadas UTM y geográficas de cada muestra obtenida.
c) Descripción y Clasificación del suelo de acuerdo al SUCS.
d) Propiedades índice:
   d1) Límite líquido.
   d2) Límite plástico.
   d3) Contenido de humedad.
   d4) Peso unitario húmedo y seco.
   d5) Contenido de carbonatos.
   d6) Porcentaje que pasa por la malla # 200 por lavado.
   d7) Densidad del suelo.
e) Resistencia al corte en arcillas, por los siguientes métodos:
   e1) Torcómetro.
   e2) Veleta miniatura.
   e3) Veleta remota y/o cono penetrómetro.

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.
f) 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 sensitividad 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 ensayes 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.