

# Aplicación de estudio geotécnico para la perforación de pozos en aguas profundas y ultra profundas

*Ing. Aciel Olivares Torralba*

*Ing. Agustín Jardinez Tena*

Información del artículo: Recibido: enero 2013-aceptado: diciembre de 2013

## Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar el proceso del estudio geotécnico aplicado en las localizaciones ubicadas en el Cinturón Plegado Área Perdido del Golfo de México, así como los resultados de su aplicación a los pozos de aguas profundas y ultra profundas. El análisis permitió conocer las características del lecho marino y garantizar la instalación de la tubería conductora, así como evaluar los esfuerzos reales aplicados a la infraestructura submarina (cabezales, preventores y riser de perforación), en condiciones dinámicas de operación.

**Palabras clave:** Estudio geotécnico, perforación de pozos, aguas profundas, aguas ultra profundas, áreas productoras de aceite.

## Application of geotechnical study for drilling in deep water and ultra deep

### Abstract

The aim of this paper is to present the process applied in geotechnical study locations located in the Perdido Fold Belt Area of the Gulf of Mexico and the results of its application to deep wells and ultra deep waters. The analysis allowed to know the characteristics of the seabed and ensure installation of the conductive line, and assess the actual stresses applied to the subsea infrastructure (heads, preventers and riser drilling) under dynamic operating conditions.

**Keywords:** Geotechnical study, drilling, deepwater, ultra deep, oil producing areas.

### Antecedentes

A la fecha, se efectúa la perforación de áreas potenciales productoras de aceite y/o gas a lo largo y ancho del Golfo de México, en ambientes marinos de hasta 3,000 metros de tirante de agua.



Figura 1. Área geográfica marina-tirantes de agua.

Se tiene el compromiso de continuar con la exploración de prospectos geológicos en tirantes de agua de mayor a los 2,000 m, con localizaciones remotas, para lo cual se tiene una atención especial a los rubros referentes a:

- Capacidad tectónica del lecho marino. Con la finalidad de conocer la consolidación del lecho marino y su capacidad para soportar el peso del pozo.
- Determinación de la profundidad optima de asentamiento de la tubería conductora.
- Esfuerzos aplicados al cabezal submarino por movimientos del Riser.
- Efectos dinámicos a componentes submarinos (oleaje, mareas, etc.)
- Optimización de selección de cabezales y conectores submarinos
- Determinación del desplazamiento máximo de la plataforma.

Estos estudios se desarrollaron en las localizaciones Trion-1 y Supremus-1, ubicadas en el área exploratoria del Cinturón Plegado Perdido Golfo de México; ambas en tirantes de agua de 2,535 m y 2,877 m, respectivamente.



Figura 2. Ubicación Área Cinturón Perdido Golfo de Mexico.

## Estudio geotécnico

La aplicación se efectuó a bordo de las plataformas de perforación, en este caso Bicentenario y West Pegasus. En la localización se programó la realización del sondeo geotécnico hasta una profundidad aproximada de 100 metros bajo el lecho marino, esto en función del grado de compactación del subsuelo, considerando que la profundidad de asentamiento máxima de la tubería conductora es de 85 metros de profundidad.

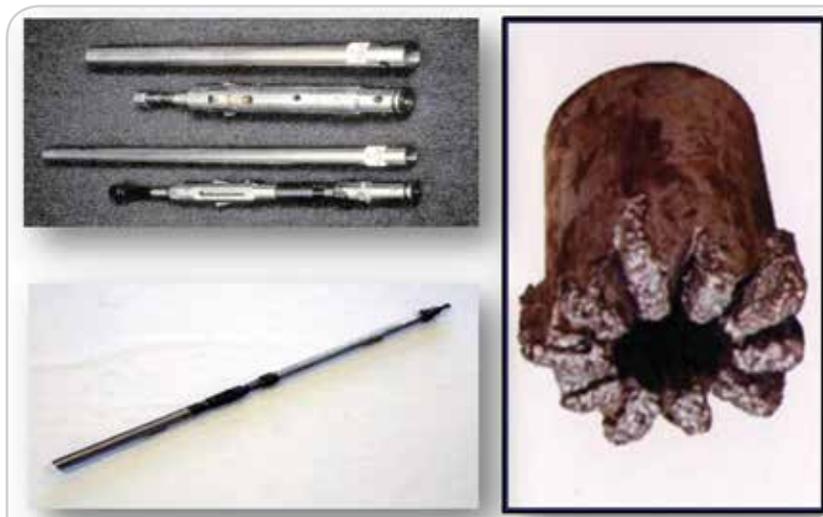
La secuencia del estudio geotécnico es la siguiente:

- Recuperación de muestras del suelo para desarrollar pruebas de laboratorio.
- A todas las muestras recuperadas se les realizaron pruebas *in-situ*, para evaluar las propiedades mecánicas de los suelos.

- Programa de pruebas avanzadas de laboratorio para definir la resistencia estática al esfuerzo cortante no drenado de las muestras de suelo.
- Determinación de las capacidades de carga del suelo para definir la longitud mínima necesaria de *jetee* para soportar las cargas esperadas.

Equipo utilizado:

- Corona de perforación
- Equipo de muestreo de suelo.
- Equipo *in situ* de veleta para medición de resistencia al corte.
- Cable guía con cabezal para recuperación de muestreador.
- Equipo portátil de laboratorio.



**Figura 3.** Equipo para muestreo geotécnico.

## Pruebas *in situ*-veleta

Estas pruebas consisten en hincar la veleta en el terreno y medir el par de torsión al girar el dispositivo hasta la ruptura

del terreno. Como el cizallamiento es relativamente rápido, el agua no tiene tiempo de ser evacuada, se trata entonces de un ensayo no consolidado y no drenado.

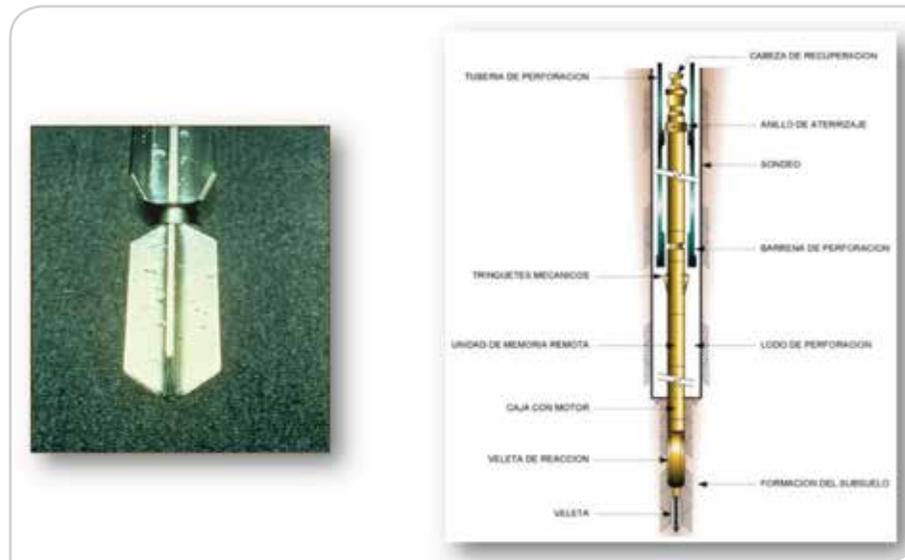


Figura 4. Veleta y diagrama de sarta.

#### Pruebas de laboratorio *in-situ*

- Clasificación visual
- Peso volumétrico
- Contenido de carbonatos (cualitativo)
- Resistencia
- Veleta miniatura
- Torquímetro
- Penetrómetro de bolsillo



Figura 5. Equipo *in-situ*, (a bordo plataforma).

Sondeo geotécnico, consiste en:

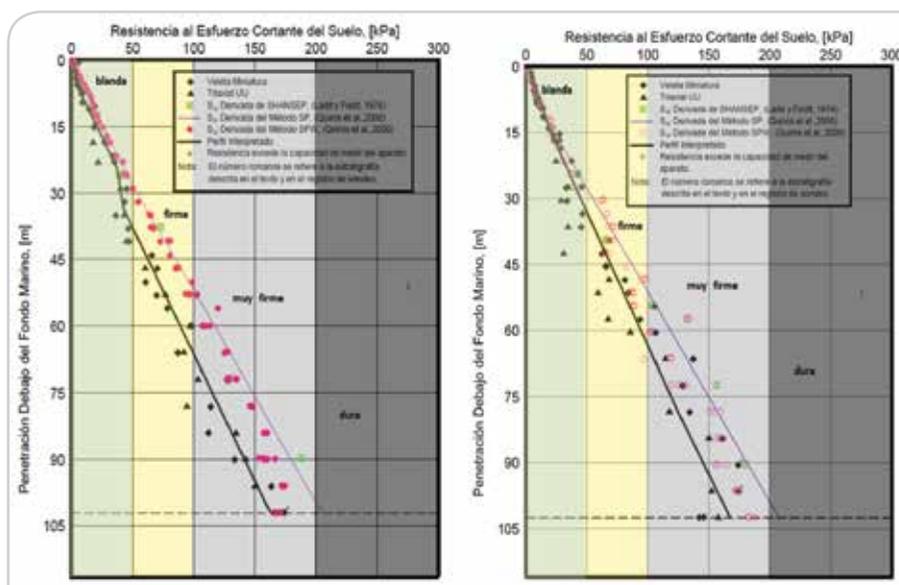
- Muestreo de suelo
- Muestras con liners
- Muestras tipo Shelby
- Muestra veleta

La referencia se muestra en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Resistencia de suelos cohesivos.

Resistencia de suelos cohesivos		
Consistencia	Resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje	
	Kips por pie cuadrado	Kilopascales
Muy Blanda	< 0.25	< 12
Blanda	0.25 a 0.50	12 a 25
Media	0.50 a 1.00	25 a 50
Firme	1.00 a 2.00	50 a 100
Muy Firme	2.00 a 4.00	100 a 200
Dura	4.00 a 8.00	200 a 400
Muy Dura	> 8.00	> 400

De la aplicación del estudio en las localizaciones Trion-1 y Supremus-1, se determinó la gráfica de resistencia al esfuerzo cortante del suelo marino, **Figura 6**.



**Figura 6.** Resultados del estudio geotécnico, localizaciones a) Trion y b) Supremus.

De ambos resultados se elabora la resistencia al corte no drenado para la zona; la recomendación para el asentamiento de las tuberías conductoras es con un valor

máximo de 125 Kpa, dado que a mayor resistencia de la formación no permite la introducción de la tubería mediante la técnica de jeteo.

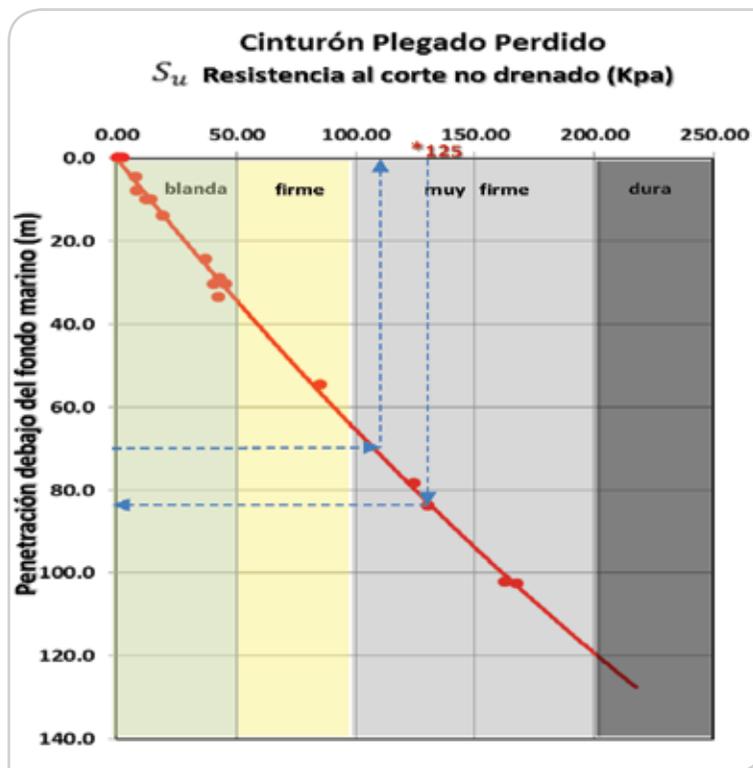


Figura 7. Resistencia al corte no drenado - Área Perdido.

Aplicando la correlación, la profundidad de asentamiento de la tubería conductora de 36” en Trion-1 fue a 71 metros y Supremus-1 a 77 metros. La operación de “jeteo” fue normal hasta las profundidades indicadas; posteriormente al “jeteo” no se observó deslizamiento de la tubería conductora.

- Desplazamiento máximo permisible de la plataforma con respecto al centro del pozo.
- Desconexión del riser
- Tensión máxima y mínima aplicada al riser en condiciones dinámicas.
- Estudio de colapso del riser

### Análisis de riser

Tiene como finalidad la determinación de:

- Operabilidad del sistema “subsea”: pozo / plataforma / condiciones de la localización.
- Esfuerzos aplicados a componentes submarinos en condiciones dinámicas.
- A diferentes escenarios meta oceánicos.

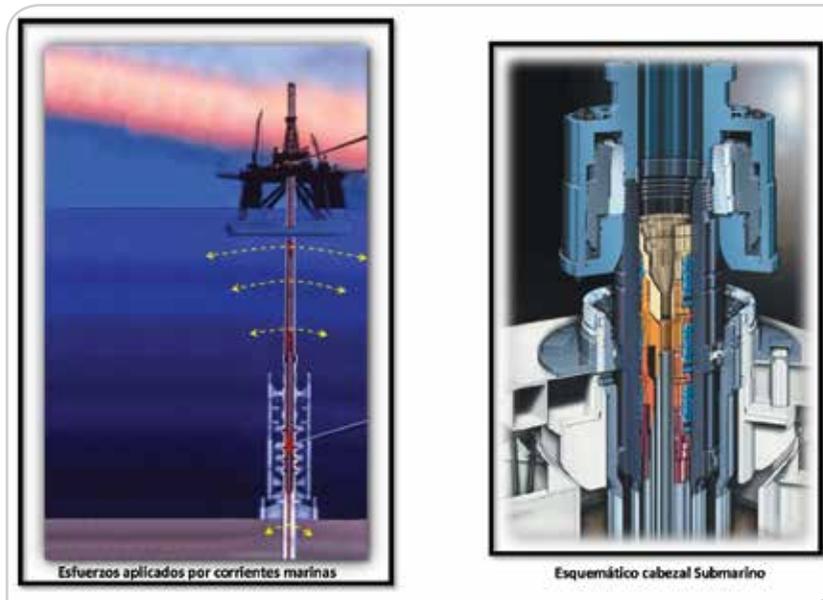
El análisis se efectúa a condiciones específicas de cada pozo y localización, considerando:

- Tirante de agua
- Máxima densidad del fluido de perforación a utilizar en el pozo.
- El efecto de las corrientes marinas sobre la plataforma y el riser.

- Condiciones meta oceánicas a 1 y 10 años en la zona.
- Características geotécnicas del lecho marino en la localización.
- Especificaciones mecánicas del riser y componentes submarinos, (juntas flexibles, cabezal, tubería conductora, preventores).

Los límites principales técnicos para el análisis son la capacidad bending de los siguientes elementos:

- Cabezal submarino = 7,000 klbs-ft a máxima presión
- Tubería conductora de 36" = 8 031 klbs-ft



**Figura 8.** Afectación de corrientes marinas a infraestructura submarina.

A continuación se presenta un ejemplo del análisis para el riser.

La información requerida consiste en:

- |                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| • Tirante de agua                    | 2,874 m                       |
| • Densidad máxima de lodo            | 1.17 gr/cc                    |
| • Presión máxima de cierre           | 7,800 psi                     |
| • Cabezal submarino                  | 18 ¾" SMS 800                 |
| • Capacidad de pandeo del cabezal    | 7,000 klbs.ft @ max., presión |
| • Altura del cabezal submarino       | 2.8 m                         |
| • Conductor                          | 36" X-56                      |
| • Capacidad de tensión del conductor | 11 963 klbs                   |
| • Capacidad de pandeo del conductor  | 8 031 klbs-ft                 |

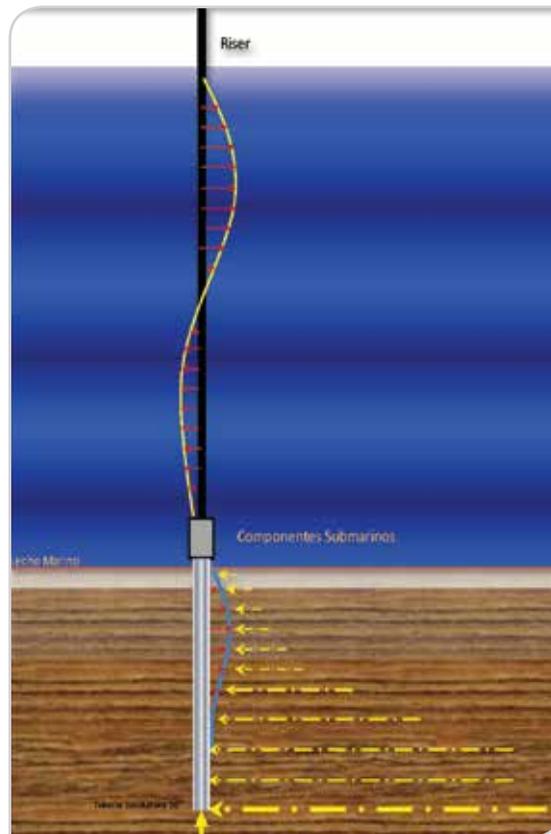


Figura 9. Diagrama de esfuerzos aplicados al riser y tubería conductora.

Tabla 2. Información meta oceánica de la localización.

PROFUNDIDAD AGUA (mts)	Corriente 1 año (ft/seg)	Corriente 10 años (ft/seg)	Corriente superficial 2 nudos (ft/seg)	Corriente Superficial 3 nudos (ft/seg)
0	1.97	1.97	3.28	4.92
718	1.31	1.31	2.19	3.28
1437	0.98	1.31	2.19	3.28
2156	0.98	0.98	1.64	2.46
2873	0.33	0.33	0.55	0.82
2874	0.33	0.33	0.55	0.82

PARAMETRO META OCEANICO	1 año	10 años
Altura de OLA (pies)	21.3 (6.5 m)	28.2 (8.6 m)
Periodo Pico (seg)	11.2	12.8
Velocidad del Viento (pies/seg)	68.9	78.7

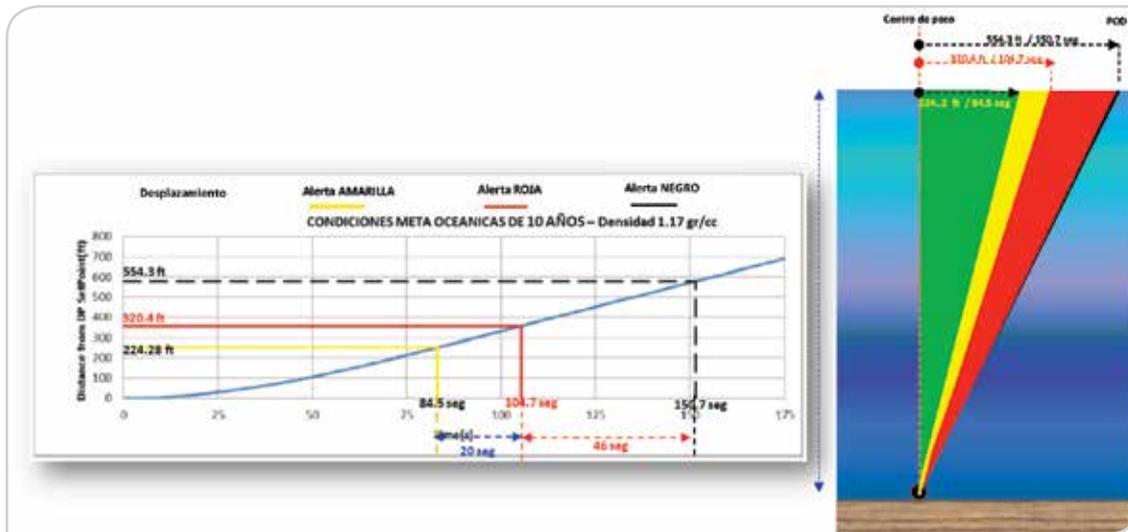
**Tabla 3.** Resultados del análisis del riser relacionados al desplazamiento máximo de la plataforma con respecto al pozo.

Circuitos de alerta y tiempos de reacción	10 años
Punto de desconexión POD	Centro de pozo
Distancia al centro del pozo	5.88 (% TA)
Desplazamiento DRIFT OFF	554.3 pies (168 m)
Tiempo reacción	150.7 seg
Circulo de alerta ROJO	320.4 pies (97 m)
Tiempo de reacción ROJO	104.7 seg
Circulo de alerta AMARILLO	224.3 pies (68 m)
Tiempo de reacción AMARILLO	84.5 seg

Los datos anteriores indican que para alcanzar los 97 metros de desplazamiento máximo se tienen 104.5 seg para desconexión y evitar afectar a los componentes submarinos. Básicamente es el tiempo máximo de reacción de la

cuadrilla a bordo para iniciar el proceso de desconexión en condiciones seguras.

En forma gráfica:



**Figura 10.** Tiempo de secuencia de activación (eds) de los arietes de los preventores submarinos. EDS1 => 17 sec -ariete de corte; EDS2 => 30 sec -ariete ciego de corte; EDS3 => 46 sec -ariete corte de TR y ciego de corte.

## Esfuerzos aplicados al cabezal submarino y tubería conductora

Durante la etapa de perforación, el riser de perforación está afectado por las corrientes marinas, las cuales aplican cargas laterales que se transmiten al cabezal submarino y la tubería conductora de 36". En este caso, la carga aplicada la soporta tanto la tubería conductora como el

lecho marino. El objetivo de este análisis es evaluar la profundidad a la cual se aplica la carga máxima de esfuerzo bending, y determinar el diseño óptimo de ambos elementos, (cabezal y tubería conductora).

La carga lateral es causada por el desplazamiento máximo permisible del riser; en el ejemplo anterior de 97 metros.

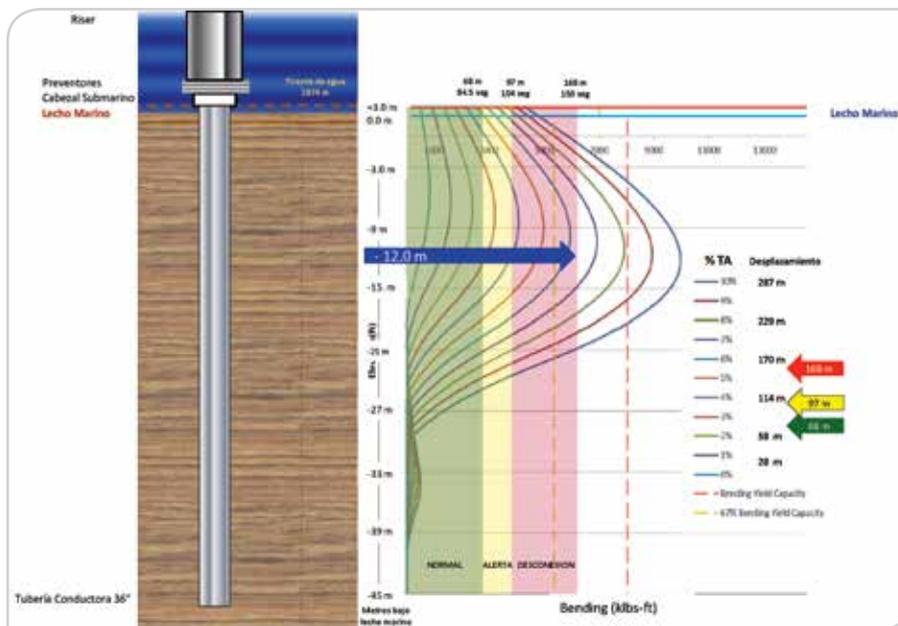


Figura 11. Resultados de los esfuerzos bending aplicados a la tubería conductora por desplazamiento del riser.

## Resultados

### Capacidad tectónica del lecho marino

- El suelo marino del Área Cinturón Perdido del Golfo de México tiene un comportamiento de capacidad de carga considerada NORMAL (sin llegar a ser blanda).

Muestra un comportamiento similar a los suelos marinos de EUA

- A partir de la profundidad de 67 metros bajo el lecho marino (mblm), se tiene consistencia catalogada como muy firme.

### Instalación de la tubería conductora

- Se determinó con precisión la profundidad de asentamiento de la tubería conductora de acuerdo a las propiedades del suelo marino; para este caso varió entre 71 a 85 mblm.
- La plataforma debe iniciar la desconexión a un desplazamiento máximo de 97 metros, el cual se alcanza a los 104 seg. El esfuerzo bending aplicado sería de 4,000 klbs-ft.

Esfuerzos aplicados al cabezal submarino por movimientos del riser.

- El cabezal submarino tiene una capacidad bending de 7000 klbs-ft (5300 klbs-ft a 67%).

- El desplazamiento máximo permitido es de 168 m para evitar dañar a los componentes submarinos del riser y cabezal submarino; el tiempo para alcanzar este desplazamiento es de 150.7 seg. Alcanzado un esfuerzo bending de 6000 klbs-ft.
- La carga máxima bending (6000 klbs-ft) se aplica a 12 metros bajo el lecho marino, (la tubería conductora tiene una capacidad de 8,000 klbs-ft.).

Esfuerzos aplicados al cabezal submarino por movimientos del riser

- Definición de los límites de seguridad en el sistema pozo/riser/plataforma

El análisis geotécnico y el análisis integral del riser permitió evaluar, por primera vez en un pozo marino de México, los límites operacionales entre el movimiento de la plataforma y la capacidad (bending) del cabezal submarino, considerando las condiciones reales del lecho marino, así como las condiciones meta oceánicas de la localización.

La aplicación de ambos análisis permiten reforzar las medidas de seguridad y garantizan la integridad del personal, infraestructura, (submarina y equipo de perforación) y pozo.

En virtud de los resultados obtenidos, se concluyó la utilidad y consecuentemente la continuidad de aplicación de la tecnología geotécnica en los próximos pozos exploratorios de aguas profundas y ultra profundas de nuestro país.

## Conclusiones

### Estudio geotécnico

- Se cumplió el objetivo de determinar las condiciones del lecho marino en localizaciones de aguas ultra profundas.

### Instalación de la tubería conductora

- Determinación de la profundidad óptima de la tubería conductora garantizando la instalación de los componentes submarinos.

## Semblanza de los autores

### Ing. Aciel Olivares Torralba

Ingeniero Petrolero egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México. De 1985 a 1987 laboró en la Comisión Federal de Electricidad como Especialista de yacimientos.

En 1987 ingresó a Petróleos Mexicanos como Ingeniero de Operación a bordo de Plataformas Marinas, trabajó como coordinador de Operaciones en la Unidad Operativa Suroeste y como Superintendente de Terminación y Mantenimiento a Pozos, adscrito a la Subgerencia de Ingeniería y Diseño, División Marina.

Tiene un diplomado en “Planeación Estratégica, Mercadotecnia y Administración de Proyectos” y es parte del grupo de Especialistas en Aguas Profundas de la Unidad de Negocios de Perforación. A la fecha se desempeña como Jefe de la Unidad Operativa de Aguas Profundas.

Integrante del Colegio de Ingenieros Petroleros y miembro de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México.

### Ing. Agustín Jardinez Tena

Ingeniero Petrolero egresado del Instituto Politécnico Nacional. Especialista en diseño de perforación en pozos costa afuera y en tierra; anteriormente trabajó en el Departamento de ingeniería de perforación y terminación, en Pemex. Tiene 17 años de experiencia en la industria del petróleo y gas.