

## Retos y experiencias para perforar un pozo atravesando un cuerpo salino alóctono en aguas profundas

*Noé Islas Sánchez*

[noe.islas@pemex.com](mailto:noe.islas@pemex.com)

*Jorge A. Mancilla Castillo*

[jorge.alberto.mancilla@pemex.com](mailto:jorge.alberto.mancilla@pemex.com)

*Iván Tapia Uresti*

[ivan.tapia@pemex.com](mailto:ivan.tapia@pemex.com)

*Pemex Exploración y Producción  
Activo de Exploración Aguas Profundas*

Información del artículo: recibido: agosto de 2016-aceptado: octubre de 2016

### Resumen

El presente trabajo se enfoca en describir los resultados obtenidos en la planeación y perforación pre, post y salina, resaltando las lecciones aprendidas y las mejores prácticas. La perforación de pozos que atraviesan la sal tiene particularidades que deben tomarse en cuenta desde el diseño. Lo anterior con el propósito de reducir los riesgos que pueden originarse en estos ambientes, los cuales representan retos diferentes que deben considerarse para alcanzar los objetivos de una forma segura y eficiente. Con el fin de identificar las mejores prácticas sobre este tema a nivel internacional, Pemex participó en un proyecto conjunto entre varias operadoras, con el objetivo de revisar y capitalizar las experiencias de cada participante. A partir de estas referencias se llevó a cabo en Pemex la planeación y perforación de los primeros pozos en cuencas subsalinas ubicadas en aguas profundas del Golfo de México. Para el primer pozo, se consideró perforar previamente un pozo de investigación, además de realizar un estudio geotécnico, con el propósito de disponer de información suficiente relacionada con las características petrofísicas y geológicas de los sedimentos que sobreyacen a la sal, así como la obtención de muestras para su caracterización. Dentro de la sal y por debajo de ella, fue importante utilizar una sísmica PSDM para mejorar la resolución e identificar entre otros aspectos geológicos, lentes delgadas intrasalinas. Asimismo fue relevante el uso de la “sísmica mientras se perfora” con el fin de ajustar el asentamiento de la TR hacia la salida de la sal.

**Palabras clave:** Perforación, sal, subsalino, aguas profundas.

## Challenges and experiences to drill a well through an allochthonous salt body in deep water

### Abstract

This paper focuses on describing the results of planning pre, post and saline drilling and highlighting the lessons learned and best practices. Drilling across salt has peculiarities that must be taken into account when designing a well. The aim is to reduce the risks that can arise in these environments, which represent different challenges to be considered to achieve the goals in a safety and efficient manner. In order to identify the best practices on this issue internationally, Pemex participated in a joint project with several operators, in order to review the experience of each participant. Based on the results obtain Pemex planned and drilled the first wells in subsalt basins in Deepwater Gulf of Mexico. It was considered previously to drill a research pilot hole. Geotechnical study was carried out in order to get enough information

on petrophysical and geological characteristics of sediments overlying the salt and sampling to describe it. Inside the salt and below it was important to use a PSDM seismic, to improve resolution and identify, for example, thin lenses in the salt, named inclusions, that could be encountered during the drilling of the wells. Thus it was also relevant the use of seismic while drilling, in order to adjust the setting casing depth to the base of the salt.

**Keywords:** Drilling, salt, subsalt, deepwater.

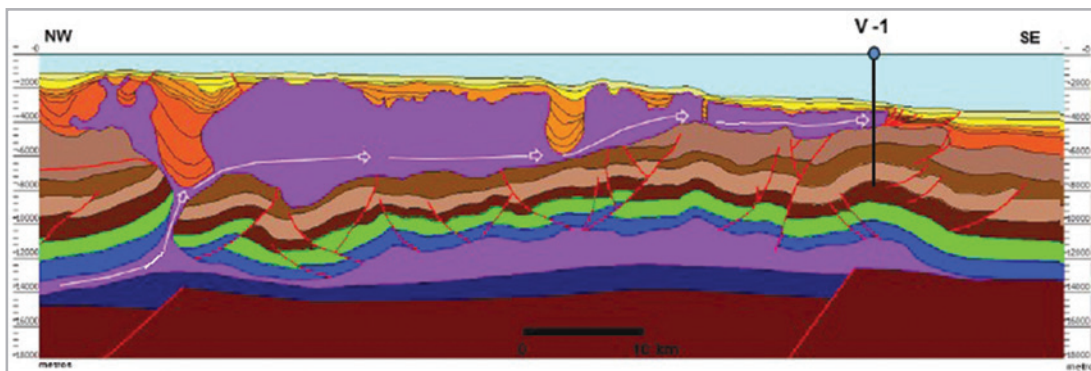
## Introducción

El objetivo de este artículo es compartir el estado del arte de la perforación subsalina en aguas profundas de México; su planeación y las lecciones aprendidas que se identificaron como áreas de oportunidad para contribuir a la mejora en el diseño y ejecución de proyectos futuros en este tipo de ambientes, resaltando sus riesgos principales.

La perforación en México ha ido evolucionando hasta alcanzar ambientes complejos, desde la perforación costa afuera hasta las aguas ultra-profundas y pozos HPHT (alta temperatura–alta presión). Ha sido mediante la utilización

de equipos de perforación de sexta generación con posicionamiento dinámico (centenario y bicentenario de Grupo R), nuevas tecnologías y personal capacitado, lo que ha permitido operar en un marco de seguridad, reduciendo el riesgo de impacto ecológico.

Aunado a esto, explorar nuevas provincias geológicas como lo son yacimientos localizados debajo de cuerpos de sal alóctona, ha sido el nuevo reto en la búsqueda de acumulaciones comerciales de hidrocarburos, la **Figura 1** muestra la posición actual de los Bloques Subsalinos en el Golfo de México.<sup>2</sup>



**Figura 1.** Evolución estructural del movimiento de la sal.

Esta provincia conocida como el Cinturón Subsalino/ Cuenca Salina del Bravo<sup>1y5</sup>, identificada con el número 2 en la **Figura 2**, tiene el programa de perforar al menos cuatro pozos para evaluar el potencial de los plays identificados en el área con un recurso medio de 2,033 MMbpce. En

tirantes de aguas entre 500 y 2,500 m, en un área de 14,288 km<sup>2</sup>, al momento 2 pozos se han perforado y uno más está en perforación, se tiene una localización aprobada y al menos 11 oportunidades.

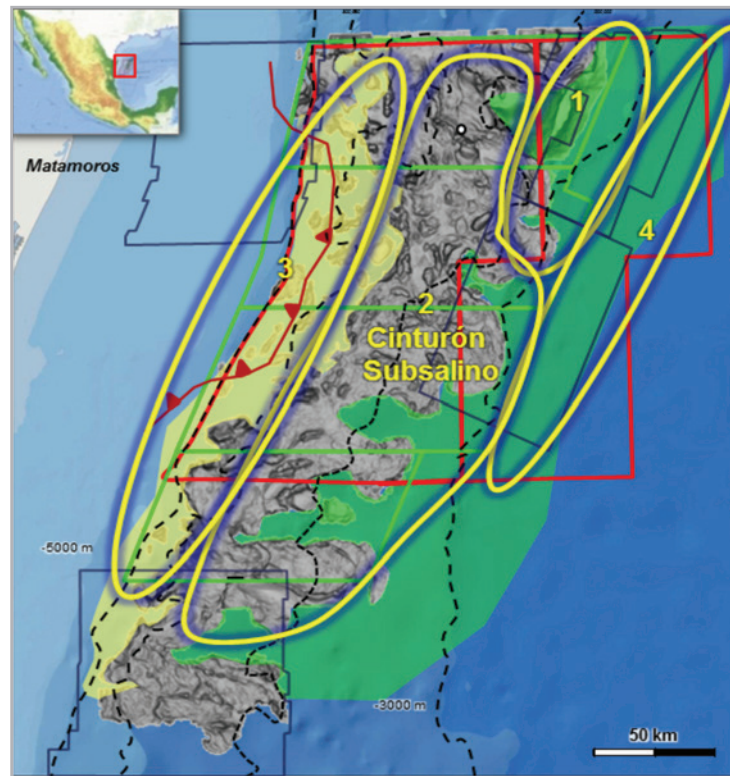


Figura 2. Mapa de sectores del Área Perdido.

Pemex trabajó en un proyecto SSJIP<sup>6</sup> (SubSalt Joint Industry Project) de coparticipación con las principales operadoras que han trabajado en el Golfo de México en 2007, desarrollando los siguientes temas:

- Determinar el estado del arte en la planeación de la perforación en ambientes subsalinos.
- Recopilar y analizar los datos de pozos que hayan atravesado formaciones salinas.
- Examinar la sismica en las localizaciones de estos pozos para verificar los efectos en la presión de poro, a la entrada y salida de los cuerpos salinos.
- Desarrollar y documentar las mejores prácticas.

Esta información se ha revisado y tomado como referencia, alrededor de más de 100 pozos subsalinos perforados en aguas someras y profundas del GoM EUA (Golfo de México Americano), **Figura 3 lado der.** En ese estudio se determinó que el 64 % de los pozos perforados encontraron evidencia de una zona gouge y rubble debajo de la sal; estas zonas se describen más adelante, ya que son unas de las principales problemáticas.

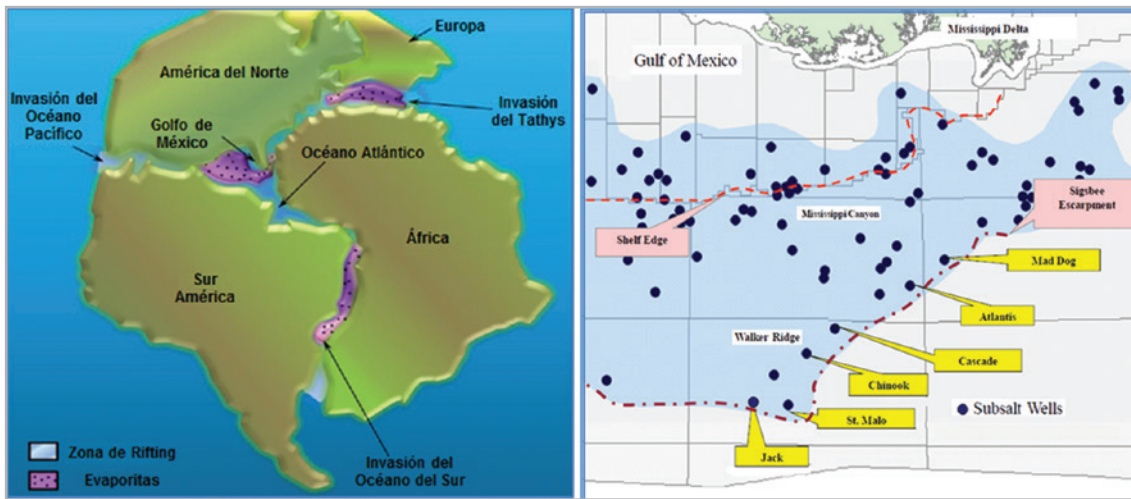


Figura 3. Distribución de evaporitas durante la apertura temprana del Golfo de México y mapa de pozos subsalinos en el GoM USA analizados en el estudio SSJI.

Alrededor del mundo se perfora en ambientes salinos, sin embargo, se ha identificado que los pozos de aguas profundas del GoM EUA son similares a los pozos en el GoM México, debido a que en el momento de la precipitación de las evaporitas (sal) fue la misma cuenca antes de la apertura durante el Jurásico Medio Calloviano del Golfo de México, **Figura 3 lado izq.** Ha sido comprobado con la perforación de dos pozos en México al momento

De la información analizada se ha determinado que los desafíos en la perforación subsalina son presiones

entrapadas no esperadas dentro de la sal, baja calidad para interpretación sísmica, incertidumbre en las velocidades de intervalo por debajo de la sal, alta incertidumbre en el comportamiento de geopresiones que desembocan en ventanas operativas reducidas, pérdidas de circulación severas e influjos severos de gas/agua, zonas fracturadas, o de altos esfuerzos de corte, estabilidad y cierre de agujero principalmente. En la **Figura 4** se muestra un pozo tipo subsalino identificando la zona de arrastre por debajo de la sal, (gouge/rubble zone).

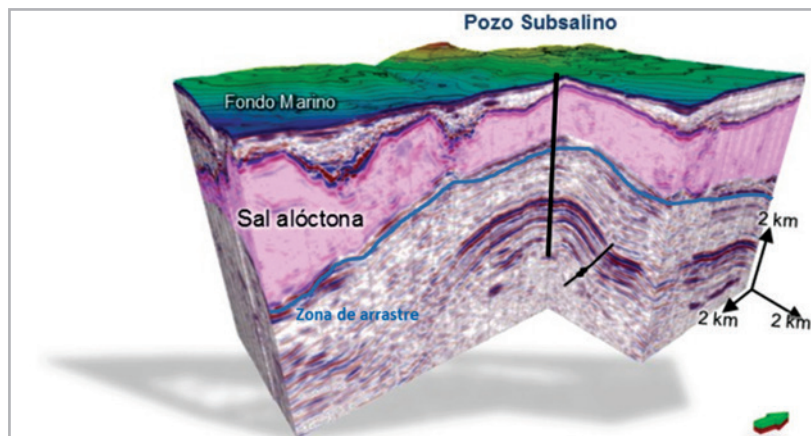


Figura 4. Sísmica en 3D de pozo subsalino.

Estos desafíos provocan problemas durante la perforación de pozos con una alta incidencia, de los cuales el 30% son pérdidas de circulación, el 20% relacionados al control de pozo, el 15% de problemas relacionados a cementaciones, el 10% son problemas de estabilidad de agujero y 25% de otros; que afrontan las operadoras al perforar pozos subsalinos.

Este tipo de sal alóctona se compone principalmente de halita, pero puede contener varios tipos de sales y terrígenos en proporciones diversas, **Tabla 1**. Por ello, es importante caracterizar la sal antes y durante su perforación para mitigar los riesgos. El principal estudio para conocer los componentes es con el XRD (difractómetro de rayos X)<sup>9y4</sup>.

**Tabla 1.** Principales componentes de sal alóctona en el Golfo de México.

Minerales evaporíticos más comunes			Observaciones
Cloruros	<b>Halita</b>	NaCl	81 al 95 %
	<i>Silvita</i>	KCl	Escaso nódulos
	<i>Carnalita</i>	CaMgCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Escaso nódulos
Sulfatos	<b>Anhidrita</b>	CaSO <sub>4</sub>	1 al 10 %
	Yeso	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Escaso
	Polihalita	K <sub>2</sub> MgCa <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Escaso
	Kieserita	MgSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	Escaso
Terrígenos	Sílice, calcita, cuarzo, dolomita, caolinita; esmectita/ilita y feldespatos.		

## Estado del arte de la perforación en ambiente subsalinos

A continuación se describen los puntos clave para la perforación sobre, dentro y debajo de la sal, condiciones que se tienen que particularizar para atravesar con éxito un cuerpo salino alóctono en aguas profundas identificadas en el proyecto SSII y fueron aplicados y comprobados en los primeros dos pozos del área, este artículo fue escrito para documentar el tercer diseño, usando la experiencia propia.

### Las claves de la perforación sobre la sal

1. Identificar la cima de la sal, (en los proyectos de aguas profundas generalmente se encuentran entre 300 a 500 m bajo el lecho marino).
2. Selección de una ubicación en la entrada de la sal, en donde la pendiente de la cima sea plana.
3. Sal superficial a baja temperatura con esfuerzos menores por la somero hace que la fluencia de la sal sea mínima.

4. Asentar la TR (Tubería de Revestimiento) superficial **al menos 70 a 200 m dentro de la sal**.
5. **Uso de fluido base agua saturado**, base salmuera NaCl, (descalibre/inestabilidad).

### Las claves de la perforación dentro de la sal

1. Estimar la fluencia de la sal, en base a la sobrecarga y temperatura de la sal mediante la Ecuación de Barker (1992). La Cía. BP recomienda un mínimo de MW (peso de lodo)= OBG (Sobrecarga)– 3 ppg, Wilson (2005). Un método adicional es mediante el uso de la gráfica de Leyendeker (1975).
2. **Uso de fluido sintético saturado**. Se espera menos lavado, mayor ROP, (velocidad de perforación) y menores vibraciones.
3. **Prueba de integridad de formación (FIT) dentro de la sal, el valor de la OBG más 500 a 1000 psi**.
4. **Asentar una TR en la base de la sal** (30 a 50 m antes de salir o por debajo de la misma), de acuerdo al conocimiento del área.

5. **Uso de control direccional** para mantener verticalidad con sistemas rotatorios y **barrenas PDC** de bajo calibre, (gauge corto).

6. **Actualización del modelo geomecánico por sísmica y tiempo real**

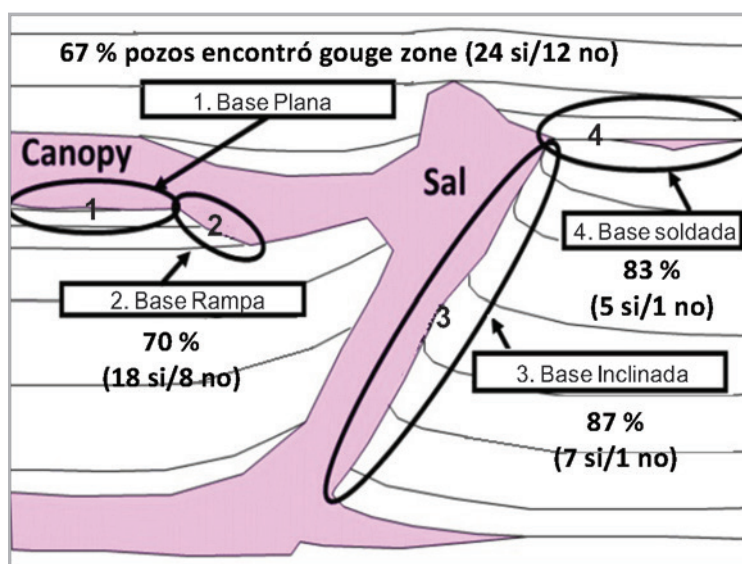
7. Identificar fallas profundas, **distancia a la estructura**

#### Las claves de la perforación bajo la sal.

1. Determinación de zonas caóticas debajo de la sal (30 a 350 m), con ROP controlados y realizar chequeo de flujo
2. Dilución de la saturación del fluido para sedimentos
3. Selección del peso adecuado del fluido a la salida de la sal, **manejo de ventanas reducidas**
4. Realización de prueba de goteo por debajo de la sal
5. Toma de VSP, (perfil sísmico de velocidad) para recalibrar sísmica por debajo de la sal

Esta zona caótica o de arrastre debajo de la sal se le llama de varias maneras; está formada por una capa de sedimentos adyacentes a la sal muy problemática: shear zone (zona de cizalla), smeared zone (zona manchada), gouge zone (zona gubia), drag zone (zona de arrastre), rubble zone / brecciated (zona de escombros o debilidad).

Se encontró una relación de la pendiente de la base de la sal con respecto a la presencia de estos eventos de zona caótica, en donde se muestra el porcentaje; por ejemplo, en donde la base es plana, el 67 % de los pozos ha presentado estas zonas caóticas, **Figura 5**.



**Figura 5.** Relación entre ocurrencia de gouge zone y la geometría de la salida de la sal.  
Ref. SPE 166115.7

Para los pozos mexicanos, en uno se presentó esta zona caótica siendo necesaria una etapa de contingencia para aislar dicha zona y el otro no tuvo presencia de ella, se describe en las lecciones aprendidas a identificarlas más adelante.

## Planeación de la perforación de pozos en cuencas salinas

La metodología para diseñar pozos en aguas profundas en tirantes de agua de 500 m hasta los 3,048 m se denomina VCDSE, la cual requiere de estudios generales pre-perforación

(riesgos someros, análisis geotécnico y estudios meta-oceánicos), las fases de diseño del pozo son visualización, conceptualización y definición, en la cual cada fase se valida por un equipo técnico conformado por el personal de mayor experiencia de las diferentes especialidades; al final del proyecto el diseño lo avala también un tercero

independiente internacional. Adicionalmente, se realizan estudios para la administración del riesgo por la perforación de pozos en estos ambientes (análisis del riesgo del proceso y cuantificación del peor escenario). El paso siguiente es el taller de perforación en papel y el seguimiento mismo de la perforación para finalizar con la fase de evaluación y lecciones aprendidas. Sin embargo, al considerar la complejidad de tener que perforar un cuerpo de sal en la trayectoria del proyecto pozo, es necesario que esta metodología se robustezca con la perforación de agujeros de investigación<sup>4</sup> supra adyacente salina empleando barcos especiales para la obtención de cima física de sal, registros y núcleos para ser utilizados en pruebas de compatibilidad y contaminación por el contacto con sal de los fluidos de perforación y las lechadas de cemento, así como el diseño de sartas y programa de barrenas específico para la sección de sal.

Derivado de un extenso protocolo de pruebas<sup>3</sup> a los sistemas de fluidos, se determinó que el sistema base agua saturado con NaCl para la sección riserless (con retorno al lecho marino), es el más adecuado por mantener una concentración necesaria para evitar el ensanchamiento del agujero perforado dentro de la sal; lo anterior se comprobó con pruebas de dispersión en un rango de cloruros 170,000 – 190,000 ppm y dado que la salmuera NaCl tiene menor costo vs  $\text{CaCl}_2$ , además que disminuye la logística de formulación del fluido optimizando los costos. El sistema de fluido base aceite sintético se diseñó para atravesar el cuerpo salino y se soportó con un protocolo de pruebas para este tipo de sistemas con  $\text{CaCl}_2$ , cloruros > 270,000 ppm, relación RAA (Relación Agua-Aceite) 75/25, pruebas de dispersión, pruebas con contaminación de sal (3 al 9 %), para observar el comportamiento del fluido a las condiciones a que sería sometido.

El aislamiento del cuerpo salino requiere del uso de lechadas formuladas con sal, para evitar el efecto acelerador en el tiempo bombeable, que se produce por la incorporación de la sal proveniente de la formación durante el posicionamiento de la lechada en el espacio anular, (generalmente entre la TR superficial y la TR Intermedia).

El protocolo de pruebas realizado en un núcleo de sal en pruebas de contaminación con 2, 3, 5 y 7 % BWOC (% en

peso de tipo de sal), simulando el efecto de incorporación de la halita en la lechada, así como la variación de las propiedades de la lechada, filtrado, tiempo bombeable, esfuerzo compresivo y pruebas de solubilidad (3 – 6 % BWOC KCl y 15 – 20 % BWOC NaCl), determinaron que porcentaje y tipo de sal se requiere en la lechada.

Los puntos finos de diseño en ambientes de aguas profundas y subsalinos a considerar son<sup>8</sup>, determinar el espesor de sedimentos someros, así como el espesor de sal que se atravesará, identificar la distancia del objetivo debajo de la sal, crear un perfil de temperatura apropiado, debido a que el gradiente en la sal es menor que en la formación. La Influencia en la geomecánica por efectos de sal, es un factor de gran incertidumbre al perforar dentro de la sal; la determinación del peso del fluido atravesar es prioritario, así como el peso a la salida de la sal; las ventas operativas reducidas son típicas por debajo de la sección salina. Usar toda la información sísmica para anticipar cuerpos o intercalaciones dentro del espesor salino. En el diseño de las TR's (Tuberías de Revestimiento) que aislarán la sal, se considera al colapso con el perfil externo de la sobrecarga, debido que es el escenario más crítico que podría ocurrir en la base de la sal si el peso del fluido no es suficiente para mantener la estabilidad y provocaría un cierre de agujero y éste sería con el valor de la sobrecarga actuando en dirección del pozo y la TR debe resistir esta magnitud para garantizar que no se colapse el tubo y tener continuidad en las operaciones; esta consideración cambia un diseño convencional, debiendo usarse los mismos criterios de diseño de pozos en aguas profundas y ultra profundas y HPHT.

En la **Figura 6** La línea rosa de la OBG es normal a cualquier pozo, es la suma del peso de todos los estratos con la peculiaridad que en la sal tiene una densidad menor que la formación y comparada con un pozo de sedimentos ésta sería menor, con respecto a la línea azul del FG (Gradiente de Fractura) sólo se usa una referencia de 600 psi por encima del OBG, y se comprueba con las FIT, en la sal no se alcanza el LOT de una arcilla, los círculos punteados en rojo describen la profundidad a la que se encuentra la sal y las densidades de manejo.

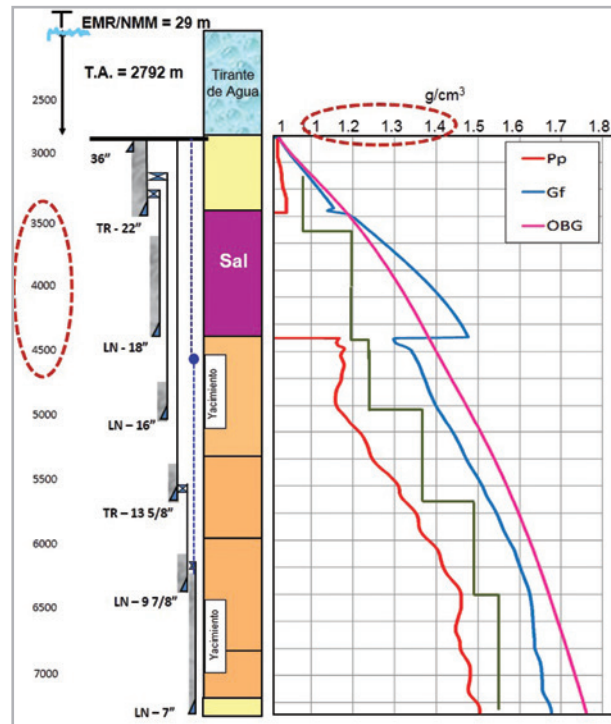


Figura 6. Estado mecánico tipo, columna y geopresiones de pozo subsalino.

La cercanía de la cima de la sal con el lecho marino en un proyecto en aguas profundas, hace que la temperatura en la cima sea +/- 5 °C y a la base no supere los 50 °C; esto beneficia la baja reptabilidad (movilidad) de la sal alóctona siendo, a diferencia de la sal autóctona que se encuentra sometida a más profundidad y más temperatura, lo que

hace severo el efecto de cierre de agujero; sin embargo, simulaciones de cierre de agujero son necesarias para garantizar la perforación, toma de información, corrida de la TR y cementación para garantizar la continuidad del proyecto pozo de una manera segura hasta la PT (profundidad total) programada.

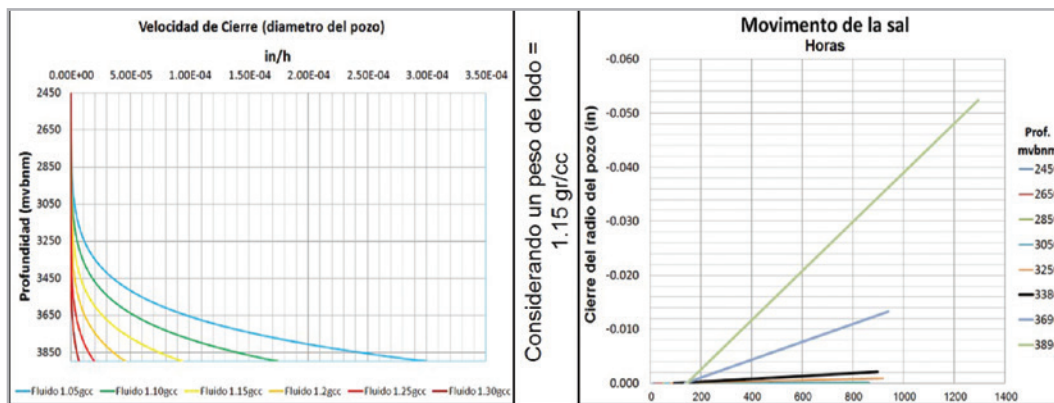


Figura 7. Determinación del cierre del agujero en Halita.



Para la generación de estas gráficas se utiliza una ecuación analítica que ha sido desarrollado por Barker<sup>10</sup>, para los cálculos de ingeniería de fluencia de sal en un pozo, cualquier combinación de estrés y de la temperatura dada a una profundidad específica, en la cual se observa que a mayor densidad de fluido y menor profundidad es menor la velocidad de cierre del agujero: además es necesario estimar las horas expuestas del agujero durante los trabajos de perforación hasta aislar la sección evaluando el cierre, a continuación se muestra la ecuación.

$$r = \frac{r_0}{\exp\left\{\Delta t \times \left(\frac{3^\gamma}{4n-2}\right) \times A \times (\sigma_h - P)^n \times e^{-\left(\frac{B}{T}\right)}\right\}}$$

Fuente: Ec. Barker, et al (1992).

Donde:

$r$  = radio de agujero después de la fluencia (pulg)

$A$  = constante de tipo de sal (sec-1)

$B$  = exponente de temperatura de sal (°K)

$n$  = exponente de estrés de sal

$\Delta t$  = tiempo de exposición (segundos)

$r_0$  = radio de agujero original (pulg)

$T$  = Temperatura de formación (°K)

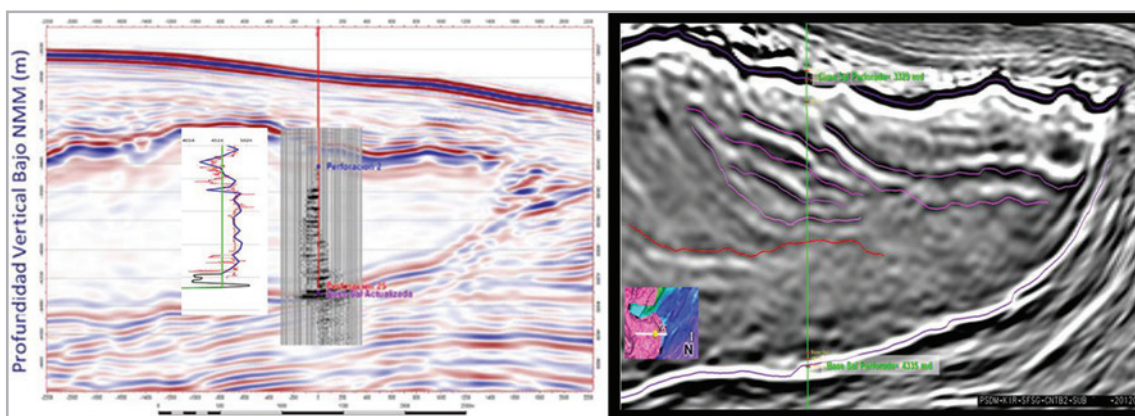
$\sigma_h$  = estrés horizontal in situ (psi)

$\gamma = ((n + 1) / 2)$

$P$  = sobrecarga, presión del pozo (psi)

## Resultados de la perforación en los primeros pozos subsalinos en México, (Mejores prácticas y lecciones aprendidas)

**Uso del SWD (Sísmica mientras se perfora), para reducir la incertidumbre de la base de la sal:** En la imagen del cuerpo de sal de la **Figura 8**, su cima había sido pronosticada a 3,369 mdbmr y se encontró a 3,329 mdbmr, (40 m más somera), mientras que la base se programó a 4,299 m y fue definida a 4330 mdbmr, (31 m más profunda).



Fuente: Grupo de geociencias aguas profundas.

**Figura 8.** Izq., sísmica en profundidad con seguimiento de SWD. Der., sísmica, versión PSDM Kirchhoff.

En la parte central del cuerpo anterior se observan una serie de reflectores sísmicos en la versión PSDM (Pre Stack Depth Migration) Kirchhoff; estas variaciones de velocidad y/o impedancia se confirmaron durante la perforación mediante los registros en tiempo real: rayos gamma, resistividad y densidad neutrón.

La aplicación de la SWD permitió detectar la salida de la sal con precisión de +/- 6 m.

**Caracterización de la sal<sup>2</sup>:** Del núcleo tomado en el intervalo 3425 a 3434 m del ejemplo anterior, se realizó un estudio con un difractómetro de rayos X en laboratorio, determinado que se encuentra presente halita, anhidrita, silvita, calcita, hematita y cuarzo principalmente. El cáliper tomado mostró un agujero estable al diámetro del ampliador, y en donde se encontró mayor presencia de cuarzo y hematita se notó un descalibre despreciable.

**Pruebas de laboratorio de núcleo:** A mayor % anhidrita (1 al 10 %), las pruebas de laboratorio permitieron concluir:

1. Mayor densidad de roca
2. Mayor resistencia mecánica
3. Mayor punto de fallo en las pruebas mecánicas
4. Menor solubilidad con los fluidos
5. Ligeramente mayor velocidad de Intervalo

Descripción de la sal obtenida en temblorinas: 100% sal, translúcida en partes cristalina, con fragmentos esporádicos de limolita café rojiza, suave y fragmentos de anhidrita de colores blanco a gris claro, **Figura 9**.



Fuente: Geólogos de operación geológica.

**Figura 9.** Foto de sal a boca de pozo.

**Eventos durante la perforación:** Se monitorearon altos S&S (choques y vibraciones), durante la corrida, el control de parámetros durante la perforación del cuerpo de sal de fue efectiva para prevenir un NPT (Tiempos No Productivos). Se recomienda minimizar repasos por riesgos de desconexión; es mejor efectuar viajes cortos para calibrar el agujero. El uso de la corona de baja invasión para recuperación del núcleo en la sal, proporcionó resultados excelentes. La perforación con gasto reducido puede emplearse para evitar deslavar la sal. El seguimiento de propiedades reológicas e higrometría

se realizaron para anticipar cambios por la interacción roca-fluido de la sal con el fluido de perforación.

**Rediseño de lechada de cemento por pérdidas de circulación:** fue necesario un cambio de diseño original por presencia de pérdidas severas en la introducción de la TR 18". Con base en lo anterior, se ajustó el diseño de la cementación con la finalidad de ofrecer un mejor escenario de DEC (Densidad Equivalente de Circulación) durante la operación y asegurar un levantamiento de la cima teórica

de cemento programada: se cambió la secuencia de bombeo de lechada única por dos lechadas de cemento con 4 % BWOW KCl: lechada de llenado 1.55 g/cm<sup>3</sup> y lechada de amarre 1.90 g/cm<sup>3</sup>.

**Identificación de zonas de arrastre<sup>7</sup>, (derrumbes):** haciendo referencia a la Figura 5, a la forma de la base del cuerpo salino visualizado en la sísmica, los registros eléctricos en

tiempo real y a los eventos encontrados en los pozos C1 y V1, se puede identificar/correlacionar por las anomalías en los registros eléctricos a tiempo real del pozo C1, se tuvo una zona caótica de 12 m por debajo de la sal, con salida de abundantes derrumbes durante la perforación y en V1 no se tuvo presencia de estos efectos, lo cual se refleja en la continuidad de los registros eléctricos.

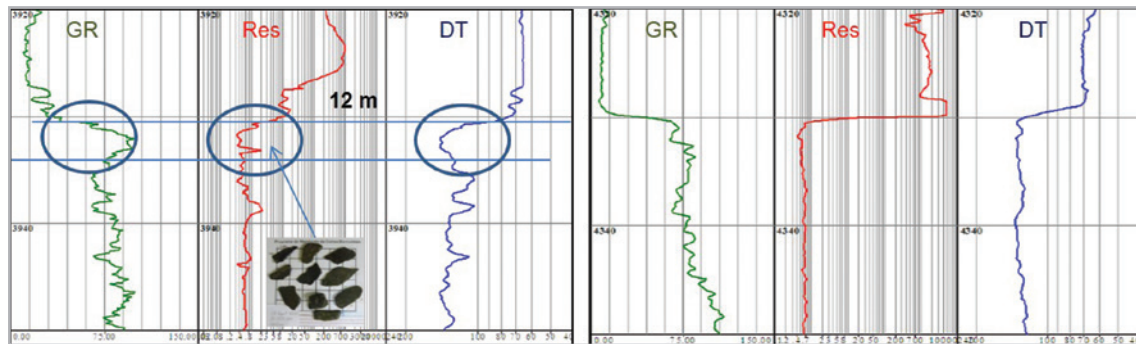


Figura 10. Izq., pozo C-1 gouge zone, der., pozo V-1 sin gouge zone.

## Conclusiones y recomendaciones

Para el diseño y ejecución del primer pozo subsalino se corroboraron las referencias propias de Pemex e internacionales, en cuanto a buenas prácticas de planeación y operación, (SSJIP).

Las claves en la planeación y seguimiento de los pozos han permitido el desarrollo exitoso de la perforación dentro del cuerpo salino.

Se logró atravesar un espesor de 1,006 m de sal del primer pozo subsalino en aguas profundas del Golfo de México, con el uso del 87% de OBG como MW. En la parte subsalina se logró la identificación del cuerpo arenoso de gas y condensado de 40° API, sin embargo, las altas presiones con una ventana reducida, (FG-PP = 0.10 g/cm<sup>3</sup>) impidieron llegar a la PT programada.

Se atravesó un espesor de 1,445 m de sal en el segundo pozo con el uso del 95 % de OBG como MW. Actualmente el

tercer proyecto pozo continúa su perforación, éste atravesó un espesor de 932 m usando el 85% de OBG como MW.

Las mejores prácticas y lecciones aprendidas se están implementando en los nuevos proyectos que actualmente están en ejecución y diseño; por ejemplo:

- Asentamientos en la entrada de la sal y en la base de la misma.
- Utilización de SWD para detección de eventos con anticipación, o VSP para recalibración de velocidades.
- Uso de barrenas PDC de bajo calibre y control direccional, (RSS).
- Usar fluidos saturados salinos para no deslavar sal y usar cemento con % de KCl.
- Monitoreo constante de RAA, al presentar indicios de que está bajando esta relación, realizar inmediatamente un chequeo de flujo y control.

- Sartas lisas en zonas caóticas minimizan represionamientos y mejoran el acarreo de derrumbes en forma tabulares.
- Programación de TR's de contingencia dentro de sal y por debajo de ella, así como MW de contingencia.
- Uso de 87 % de OBG en MW para sal de alta pureza y 95 % de OBG de MW para sal impura y/o eventos detectados con la sísmica.

## Agradecimientos

La colaboración multidisciplinaria de diferentes especialistas de Pemex de las áreas involucradas y compañías de servicio, coadyuvó a obtener los resultados. Con esto se demuestra una vez más que el trabajo en equipo, la convicción por alcanzar los nuevos retos de la industria petrolera, es posible realizarlos por MEXICANOS; por lo cual quiero agradecer a los participantes de este proyecto.

## Nomenclatura

ARP:	Análisis del Riesgo del Proceso	PP:	Presión de Poro
CaCl <sub>2</sub> :	Cloruro de Calcio	PPM:	Partes por Millón
DEC:	Densidad Equivalente de Circulación	PT:	Profundidad Total
FG:	Gradiente de Fractura	RAA:	Relación Agua-Aceite
FIT:	Prueba de Integridad	Res:	Resistividad
HPHT:	Alta Presión, Alta Temperatura	RG:	Rayos Gamma
KCl:	Cloruro de Potasio	Rhob:	Densidad
LOT:	Prueba de Goteo	Riserless:	Perforación con retorno al lecho marino
MW:	Peso del Fluido	RSS:	Sistemas de rotación estabilizados para control de la verticalidad
NaCl:	Cloruro de Sodio	SSJIP:	Sub Salt Joint Industry Project
NPT:	Tiempo No Productivo	SWD:	Sísmica durante la perforación
OBG:	Sobrecarga	TA:	Tirante de Agua
PDC:	Compuesto Policristalino de Diamante	TR:	Tubería de Revestimiento
		VSP:	Perfil Sísmico Vertical

## Referencias

1. Barker, J. W., Feland, K. W. y Tsao, Y. H. 1994. Drilling Long Salt Sections Along the U.S. Gulf Coast. *SPE Drill & Compl* 9 (3): 185-188. SPE-24605-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/24605-PA>.
2. Caracterización del Cuerpo Salino de V1, 2014 del AEAP.
3. Comisión Nacional de Hidrocarburos. 2012. *Dictamen Técnico del Proyecto de Exploración Área Perdido*. México: CNH. [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/109979/Dictamen\\_Proyecto\\_Exploracion\\_Area\\_Perdido.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/109979/Dictamen_Proyecto_Exploracion_Area_Perdido.pdf) (Acceso el 16 de abril de 2016).
4. Documentos soporte de VCDSE de proyecto pozo V1, C1, C11 y E1DL del AEAP.
5. Pemex Exploración y Producción. 2012. Aguas Profundas en México: La Oportunidad y el Reto. [http://www.ai.org.mx/ai/archivos/v\\_congreso/petroleo/ing\\_carlos\\_morales\\_gil-aguas\\_profundas.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/archivos/v_congreso/petroleo/ing_carlos_morales_gil-aguas_profundas.pdf) (Acceso el 16 de abril de 2016).
6. Reporte Pozo Piloto y sondeo C1, 2014 del AEAP.
7. Saleh, S., Williams, K. E. y Rizvi, A. 2013. Rubble Zone Below Salt: Identification and Best Drilling Practices. Artículo presentado en la SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, septiembre 30-octubre 2. SPE-166115-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/166115-MS>.
8. Subsalt Joint Industry Project, Proyecto de coparticipación, 2009.
9. Whitson, C. D. y McFadyen, M. K. 2001. Lessons Learned in the Planning and Drilling of Deep, Subsalt Wells in the Deepwater Gulf of Mexico. Artículo presentado en la SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, septiembre 30-octubre 3. SPE-71363-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/71363-MS>.
10. Willson, S. M. y Fredrich, J. T. 2005. Geomechanics Considerations for Through-and-Near-Salt Well Design. Artículo presentado en la SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, octubre 9-12. SPE-95621-MS. <http://dx.doi.org/10.2118/95621-MS>.

## Semblanza de los autores

### Noé Islas Sánchez

Ingeniero Químico Petrolero egresado en el año 2005 de la ESIQIE del Instituto Politécnico Nacional. En junio de 2006 colaboró como ayudante de pruebas de producción. En 2007 inició como Ingeniero especialista de fluidos de perforación en la Subgerencia de Ingeniería y Diseño, División Marina por el IMP. En diciembre de 2008 ingresó a Pemex donde actualmente está asignado al Activo de exploración de aguas profundas, en Poza Rica, Ver., como Ingeniero de diseño de pozos exploratorios marinos.

Socio activo de la AMGP, Delegación Poza Rica y de la SPE, Sección México.

### **Jorge A. Mancilla Castillo**

Ingeniero Petrolero egresado de la UNAM, 1985-89. Cubrió los créditos de la Maestría en Ingeniería Petrolera, en la misma Universidad.

Desde 1999 a la fecha colabora en Pemex, y se ha especializado en la planeación de la perforación, en la evaluación de geopresiones y análisis de estabilidad de agujero, y recientemente participa en la Gerencia de cumplimiento regulatorio, para la Dirección de exploración.

### **Iván Tapia Urestí**

Ingeniero Geólogo por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. A partir del 2003 se desempeñó como Geólogo de pozo por el IMP en pozos del Activo de Exploración Golfo de México Norte. Ingresó a Pemex en el 2005 como Geólogo de pozo; desde el 2006 realizó actividades como integrador y líder en el equipo VCDSE de diseño de pozos para pozos en aguas profundas; a partir del 2013 se incorporó a la especialidad de geomecánica, donde actualmente se desempeña como Líder del equipo en el Activo de exploración aguas profundas.