

## Longitud más larga disparada en un pozo de aguas ultra profundas del Golfo de México

*Albania Sánchez Rangel*  
[albania.sanchez@pemex.com](mailto:albania.sanchez@pemex.com)

*José Antonio Muñoz Bautista*  
[jose.antonio.munozb@pemex.com](mailto:jose.antonio.munozb@pemex.com)

*Isaura López Mera*  
[isaura.lopez@pemex.com](mailto:isaura.lopez@pemex.com)  
Pemex

Artículo recibido en agosto de 2016 y aceptado en abril de 2017

### Resumen

Disparar una longitud de 164 m en arenas moderadamente consolidadas y altamente laminares en un pozo de aguas ultra profundas del Golfo de México, implicó un gran reto por el riesgo de ser la longitud más larga disparada en un pozo con un tirante de agua de 2,601m. Los resultados fueron favorables, teniendo un AOF (Absolute Open Flow), mayor a lo esperado, con lo cual se tuvo un incremento en la producción del pozo en un 30%. Mediante la prueba de presión-producción se logró evaluar el potencial productivo de la formación, así como las características del sistema roca-fluido.

El trabajo presente muestra el desarrollo y análisis de resultados durante la prueba de presión-producción mediante la técnica de disparos shoot and pull con aparejo TCP-DST, presentando un breve resumen durante la ejecución en plataforma desde la planeación hasta el aforo del pozo. La información presentada se enfoca a exponer las ventajas de aplicar este tipo de método para la evaluación de yacimientos en aguas profundas. El proceso en el flujo de trabajo que se adoptó ayudó el éxito de la prueba y con ello, la obtención de resultados mejores a los esperados.

**Palabras clave:** Aguas ultra profundas, prueba de presión producción, Golfo de México.

### The longest length perforating in a well of ultra-deepwater in Gulf of Mexico

#### Abstract

Perforating a length of 164 m in moderately consolidated sands and highly laminar in a well of ultra-deepwater Gulf of Mexico was a great challenge, by the risk of being the longest perforated in a well with a water depth of 2,601 m length. The results were favorable having an Area Open Flow (AOF) higher than expected, thereby increase in the well production approximately by 30%.

Through the pressure test was achieved evaluate the productive potential of the formation and the characteristics of the rock-fluid system.

This paper presents the development and analysis of the results during the pressure-production test, through the technique Shoot and Pull with TCP-DST.

The information presented focuses explains the advantages of using this type of method for reservoir evaluation in deepwater. The process in the workflow that was adopted helped the success of the test, and thus obtaining better than expected results.

**Keywords:** Ultra-deepwater, pressure test production, Gulf of Mexico.

## Introducción

El pozo H-1 se ubica en aguas territoriales del Golfo de México, **Figura 1**, el objetivo principal fue encontrar acumulaciones comerciales del tipo gas húmedo en el yacimiento a nivel del Mioceno medio. El tipo de terminación que se realizó fue sencilla, con aparejo de prueba DST-TCP por medio de la técnica shoot and pull en el intervalo A con un tirante de agua de 2,601 m, teniendo como profundidad total del pozo, de 4,429 m.

## Definición del intervalo a disparar

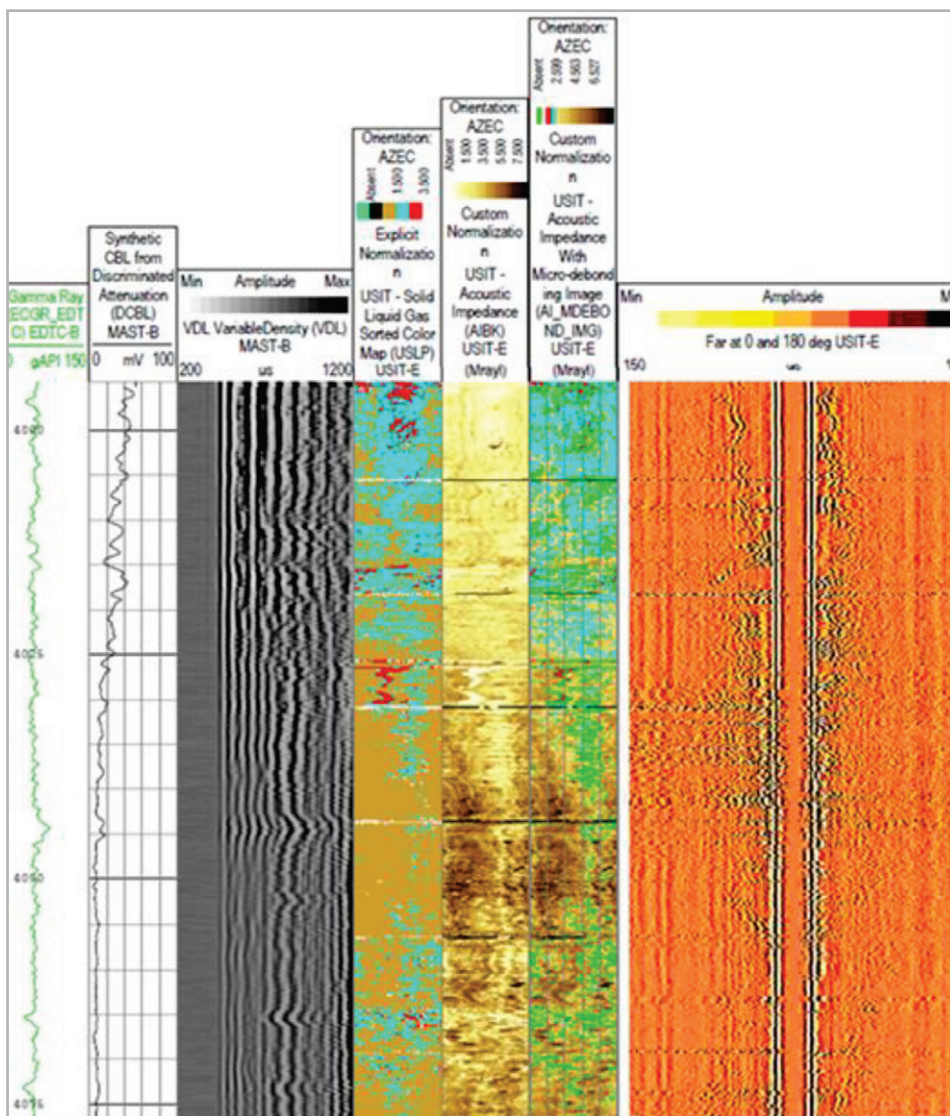
- El análisis de la información geológica y petrofísica permitió definir el yacimiento del Mioceno medio como el de mejores condiciones para evaluar propiedades y productividad de la formación, siendo un yacimiento de baja resistividad y bajo contraste debido a la alta laminaridad entre las areniscas y lutitas. Se definió este intervalo para la
- prueba de producción por ser el de mayor espesor neto impregnado y presentar buenas propiedades de porosidad y permeabilidad, con una presión de yacimiento de 6548 psi. Se evaluaron todas las zonas impregnadas con gas durante la perforación con probadores dinámicos de formación, con lo que fue posible definir presiones de formación y establecer sus límites físicos. Se realizaron pruebas mini-DST para estimar sus propiedades dinámicas y capacidad productiva, información determinante en la definición del intervalo a disparar y planificación de la prueba de producción, descartando la presencia de agua libre de formación, identificando al gas como el único fluido en la prueba.
- Para la terminación del pozo con base a los resultados obtenidos de la evaluación petrofísica y con probadores dinámicos de formación, se definió disparar y evaluar 164 m de espesor del intervalo A, con ocho arenas laminadas, identificadas mediante una prueba de presión-producción con aparejo TCP-DST.



**Figura 1.** Ubicación en el Golfo de México.

- Con el objetivo de verificar el aislamiento correcto del intervalo a disparar de otras zonas de gas o agua, tanto inferiores como superiores que pudieran alterar los resultados, o poner en riesgo la prueba de producción en sí, se corrió un registro ultrasónico de cementación y evaluó la cementación del liner 9 5/8", confirmando que la cementación es de buena calidad en toda la sección perforada en esta etapa, **Figura 2**.
- El análisis del tipo de roca se realizó con información de pozos de correlación, debido a que sólo se contaba

con núcleos de pared. De acuerdo a la calibración de los parámetros de pozos de correlación y los resultados obtenidos de la resistencia al esfuerzo no confinado (UCS), se observa que se trata de una formación de arena con un grado de consolidación moderado a bien consolidado. Debido a esto, en el diseño del aparejo de producción se incluyeron cedazos en su parte inferior como método de control de arena durante la prueba. En la **Tabla 1** se muestran los valores promedio de UCS, Young y Poisson correspondientes al intervalo a disparar.



**Figura 2.** Evaluación del registro de cementación del intervalo A.

**Tabla 1.** Valores promedio del UCS y determinación del tipo de formación.

Profundidad (m)	Esfuerzo axial (UCS) (psi)	Módulo de Young (10 <sup>4</sup> psi)	Relación de Poisson (adimensional)
Zona 1	2077.63	148.26	0.35
Zona 2	2373.55	171.66	0.34

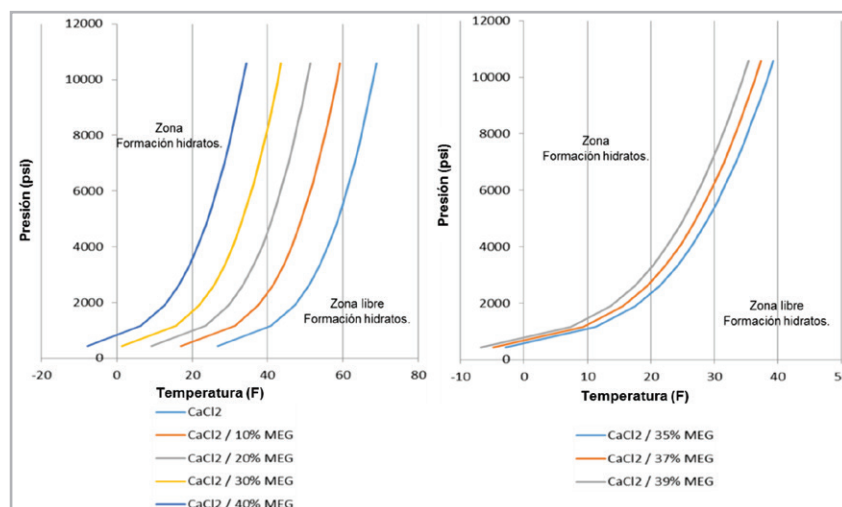
	UCS (psi)	E (psi)	Φ %
Arena gris	UCS < 4000	<2,500,000	< 20%

## Desarrollo de la prueba de producción

### Fluido de terminación

Para el diseño del fluido de terminación se consideró una presión de yacimiento de 6548 psi y una temperatura de 45°C. Se utilizó una salmuera cálcica (CaCl<sub>2</sub>), con densidad de 1.19 g/cm<sup>3</sup> y 37% de glicol, **Figura 3**, la cual se mantuvo en la zona libre de hidratos. Se dejaron en fondo del pozo 25 m<sup>3</sup> de salmuera de CaCl<sub>2</sub> de 1.19 g/cm<sup>3</sup>, viscosificada como medida preventiva para control del pozo.

Para el lavado del pozo se desplazó el fluido de control de las líneas auxiliares por agua de mar, previo se bombeó un bache viscoso del lodo de control y con la sarta de limpieza 1 m por arriba de la P.I. (4428 m) se efectuó el desplazamiento de lodo sintético por agua de mar, previo bombeo de baches de limpieza. Se continuó lavando el pozo hasta alcanzar <25 NTU y posteriormente se efectuó el desplazamiento de agua de mar por salmuera CaCl<sub>2</sub> de 1.19 g/cm<sup>3</sup>.

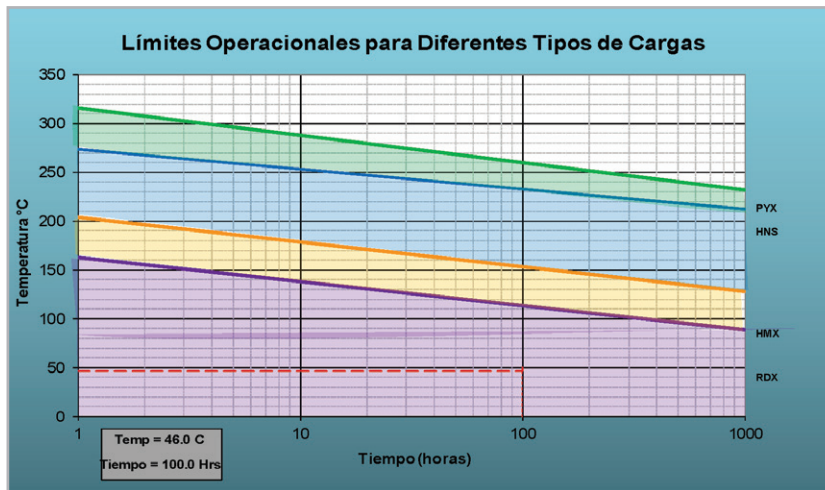


**Figura 3.** Diagrama de fase de formación de hidratos para la salmuera cálcica de 1.19 g/cm<sup>3</sup>.

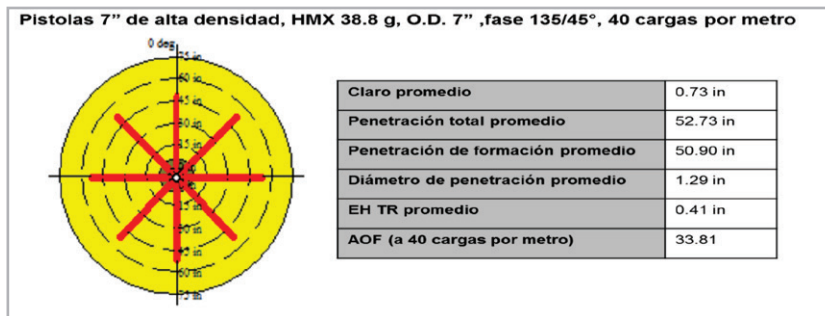
### Diseño de disparos

La selección del explosivo estuvo dada por la temperatura del pozo y del tiempo de exposición de las pistolas en el fondo con base al procedimiento operativo para diseñar disparos de producción en pozos de aguas profundas y ultra profundas. El explosivo HMX puede resistir un tiempo de exposición >1000 horas a la temperatura de 46°C, por lo que se seleccionó para la realización del disparo, **Figura 4**.

Se realizó un análisis de productividad utilizando diámetros de pistolas de 4 1/2" y 7", de acuerdo a los resultados obtenidos y el daño efectivo de cada una de las simulaciones, se seleccionaron las pistolas TCP 7". Las cuales cuentan con una densidad de disparo de 40 c/m, fase 135°/45° y con explosivo HMX, que de acuerdo al diseño de disparos se definió una penetración de 52.73 pulgadas y un diámetro de orificio de 0.41 pulgadas, **Figura 5**.



**Figura 4.** Límites operacionales para el explosivo con la temperatura del pozo.



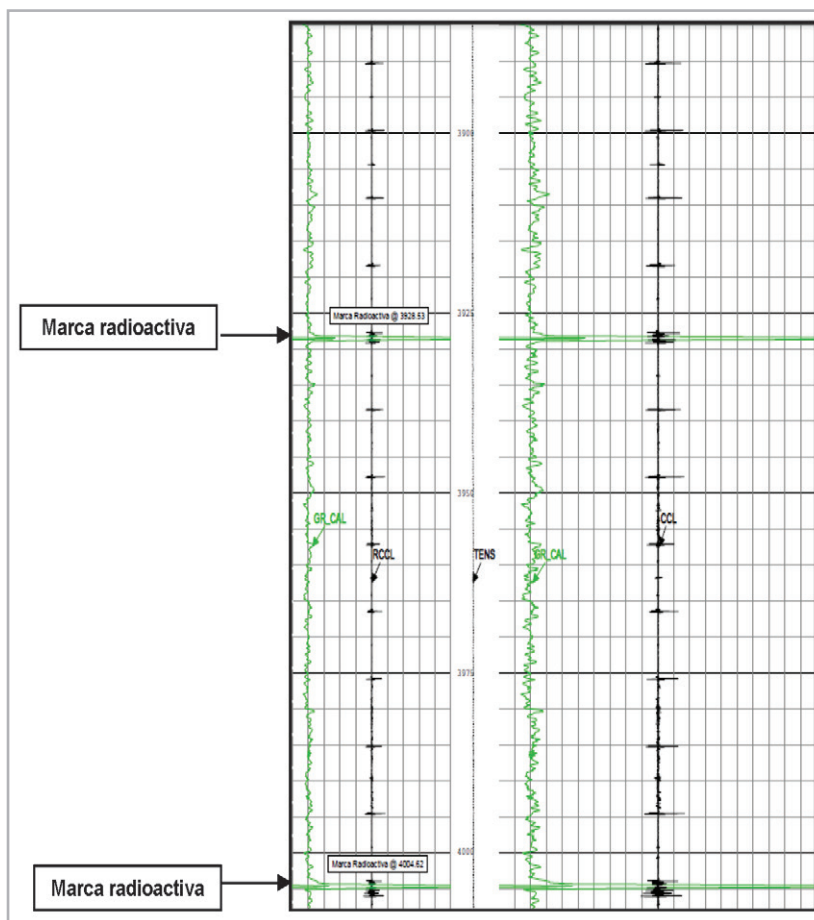
**Figura 5.** Desempeño de pistolas TCP 7" HMX.



Se tomó un registro de correlación CCL-GR, **Figura 6**, para ajustar la profundidad de las pistolas, observándose un desfase de las pistolas en profundidad de 5.79 m. Realizándose el ajuste de las pistolas en el aparato TCP, **Figura 6**, a la profundidad del intervalo A programado.

Durante la terminación del pozo se decidió realizar la prueba de producción con tres aparejos, debido a que los esfuerzos a los que se iba a someter el empacador

recuperable hidráulico durante la operación de disparos no soportaban las presiones diferenciales máximas. El primer aparato utilizado fue el TCP, mediante el cual se realizaron los disparos; posteriormente se bajó el aparato para anclar el empacador y por último el aparato DST para llevar a cabo el aforo del pozo. El diseño se realizó con base al procedimiento operativo para realizar pruebas de producción con aparato convencional "DST" para pozos en aguas profundas y ultra profundas.



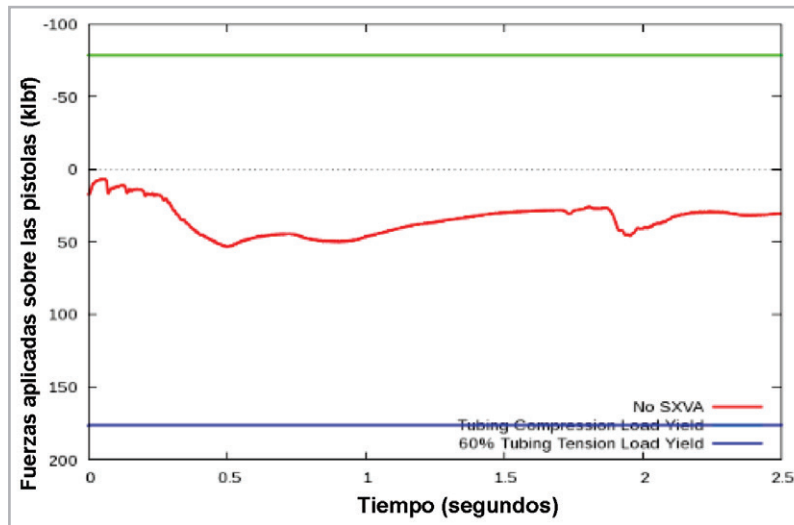
**Figura 6.** Registro CCL-GR en el intervalo A.

El método utilizado para el disparo fue shoot and pull, (bajar, disparar y sacar), derivado a las cargas y fuerzas a las cuales se someterían el empacador y herramientas DST durante la ejecución, y así evitar fallas posibles de los componentes del aparejo y probable desanclaje del empacador.

La simulación de las fuerzas ejercidas sobre las pistolas mediante el método shoot and pull, en dirección hacia

el fondo, alcanzaban hasta 55 klbs, **Figura 7**, y un movimiento de las pistolas alcanzando una magnitud de +110 cm a -2.5 cm.

El aparejo TCP utilizado para realizar los disparos, se muestra en la **Figura 8**.



**Figura 7.** Esfuerzos aplicados sobre las pistolas utilizadas.



Herramientas	Cima
Tubería 5 7/8" 26.3# S-135 XT57	-0.53
Tubería 4" HD 533 22.5# TRC-95	161.54
DC 4 3/4" 43.5#	3510.53
Sub radioactivo	3922.30
DC 4 3/4" 43.5#	3923.24
Sub radioactivo	3998.48
Cabeza de disparos redundante	4037.78
Pistolas HSD 7", 40 C/M, F135/45°, HMX,	4080.00
Pistolas HSD 7", punta nariz	4210.00

**Figura 8.** Distribución del aparejo de disparo, aparejo TCP.

A la profundidad media de los disparos se tenía una presión hidrostática con salmuera cálcica de 1.19 g/cm<sup>3</sup> de 6948 psi y una presión de yacimiento de 6,548 psi. Al efectuar los disparos se tuvo un sobrebalance de 400 psi al fondo del pozo, la cabeza electrónica activó los disparos por medio de pulsos de presión.

Para la activación de los disparos se realizaron cuatro pulsos de presión mediante represionamientos por TP.

- 500 psi durante 20 segundos-descarga, inter de 4 minutos

- 500 psi durante 20 segundos-descarga, inter de 5 minutos
- 500 psi durante 20 segundos-descarga, inter de 6 minutos
- 500 psi durante 20 segundos - descarga sobre balance con salmuera cálcica de 1.19 g/cm<sup>3</sup>.

En las Figuras 9 y 10 se muestra la secuencia de disparos completa.

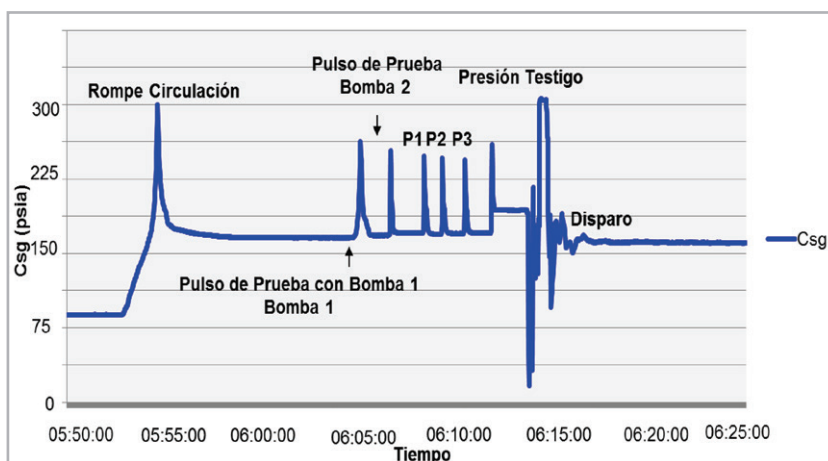


Figura 9. Gráfica de la secuencia de disparos completa.

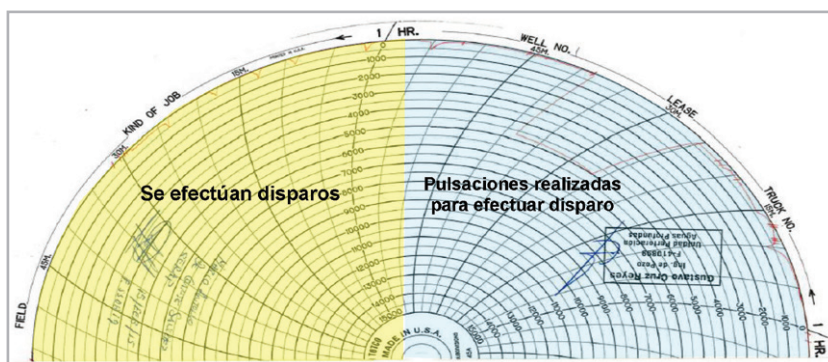


Figura 10. Gráfica de la secuencia de disparos con la unidad de alta presión.



Una vez disparado el espesor de 164 m del intervalo A, se recuperó el aparejo TCP a superficie para la introducción del segundo aparejo.

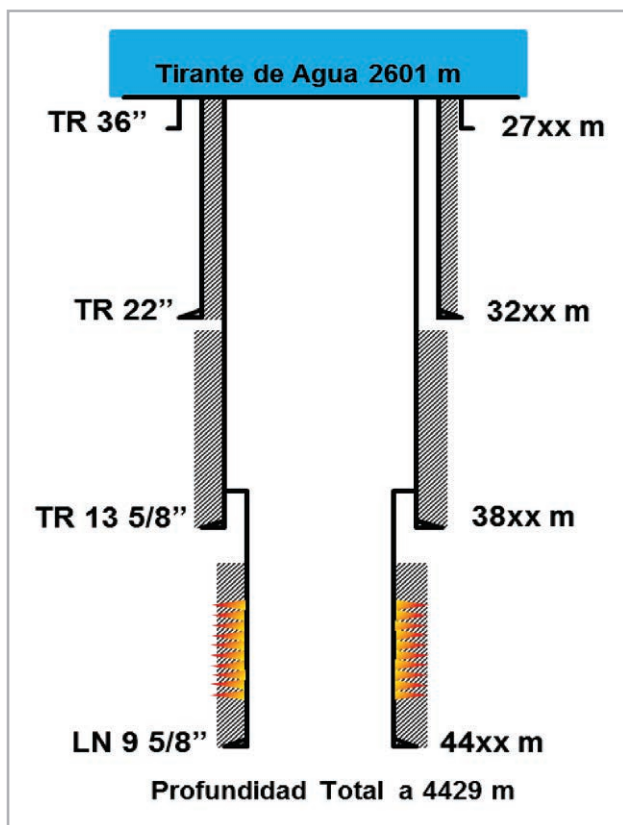
El estado mecánico del pozo al momento en que se realizaron los disparos, **Figura 11**.

Durante la recuperación de pistolas a la profundidad de 2950 m, suspendió por descompensación de columnas, observando niveles estables en presas. Se circuló el pozo 1.5 veces la capacidad de la TP homogeneizando columnas

con salmuera de  $1.19 \text{ g/cm}^3$ . La descompensación de las columnas fue ocasionada por una burbuja de gas que entró al interior de la TP, al momento de realizar el disparo.

En la recuperación de las pistolas a superficie se analizaron tramo por tramo cada una de ellas y se observó la detonación de las pistolas al 100%, **Figura 12**.

Después de realizar los disparos de producción, se procedió a bajar el aparejo para el anclaje del empacador, y por último, el aparejo DST para llevar a cabo el aforo del pozo.



**Figura 11.** Estado mecánico del pozo.



**Figura 12.** Pistolas disparadas al 100% recuperadas en superficie.

## Resultados de la prueba de producción

Con el pozo alineado al barco de proceso, se realizó la limpieza del intervalo disparado A, durante 30 h, variando el diámetro del estrangulador, (3/8", 1/2", 9/16" y 5/8"), tomando muestras de líquidos provenientes del pozo cada 0.5 h con la finalidad de determinar las propiedades del fluido.

Al finalizar el periodo de limpieza, se cerró el pozo en fondo para determinar la presión inicial del yacimiento, por un tiempo de de 24 h, determinando la presión inicial de yacimiento ( $p_i, yac$ ) de 6422 psi.

Posterior al cierre programado, se abrió el pozo, realizando el aforo por cuatro estranguladores (3/8", 7/16", 1/2" y 9/16"), durante un periodo total de 36 h, el tiempo de medición por cada uno de los estranguladores fue de 9 h. Se cerró el pozo en fondo para una curva de incremento de presión durante 100 h.

No se tuvo agua de formación durante la prueba de presión producción.

## Conclusiones

- Se logró cumplir con los objetivos geológicos esperados, clasificando el pozo como productor de gas húmedo, y es el primer pozo de aguas profundas en probar un yacimiento no convencional de baja resistividad y bajo contraste, debido a la alta laminaridad entre areniscas y lutitas.
- Mediante el método "shoot and pull" se pudieron realizar los disparos de manera exitosa y segura, con una longitud de 164 m disparados, siendo el primer pozo de aguas ultra profundas del Golfo de México en disparar una longitud tan larga.
- Los resultados fueron favorables teniendo un AOF (Absolute Open Flow) mayor a lo esperado, con un incremento en la producción del pozo en un 30%.

- Fue la primera vez que se disparó esta longitud de disparos en México con pistolas de 7", en formaciones poco consolidadas y laminadas y con la longitud de cedazos que se tiene programada.
- Bajar, disparar y sacar fue opción de disparo más aceptable en este caso, realizándose en condiciones de fluido limpio, minimizando cualquier daño adicional a la formación.

## Agradecimientos

A todo el personal que participó en el diseño, ejecución y evaluación de la terminación del pozo del Activo de Exploración Aguas Profundas y Unidad de Perforación de Aguas Profundas, así como al Coordinador de Terminación de Aguas Profundas, Ing. José Antonio Martínez Ramírez y a su equipo de trabajo.

## Referencias

1. Economides, M. J., Hill, A. D. y Ehlig-Economides, C. 1993. *Petroleum Production Systems*. 1993. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
2. Pemex. 2015. Procedimiento Operativo de Diseño para Lavado de Pozos Exploratorios en Aguas Profundas y Ultra Profundas.
3. Pemex. 2015. Procedimiento Operativo para Diseñar Disparos de Producción en Pozos de Aguas Profundas y Ultra Profundas.
4. Pemex. 2015. Procedimiento Operativo para Realizar Pruebas de Producción con Aparejo Convencional "DST" para Pozos en Aguas Profundas y Ultra Profundas.

## Semblanza de los autores

### **Albania Sánchez Rangel**

Ingeniera Petrolera egresada de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el año 2012.

En el año 2013, comenzó su carrera profesional en Petróleos Mexicanos como Ingeniera de Diseño de Reparaciones Mayores en el Activo de Producción Cinco Presidentes en Agua Dulce, Veracruz.

En el año 2014 se incorporó al Equipo de diseño del Activo de exploración aguas profundas sur y actualmente está laborando en el Activo de exploración de aguas profundas como Ingeniera de diseño de perforación.

### **José Antonio Muñoz Bautista**

Ingeniero Petrolero egresado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional, en el año 2009.

En el año 2011, comenzó su carrera profesional en el Activo de exploración aguas profundas sur, como Ingeniero de límite técnico, posteriormente se unió a la Coordinación de operación geológica en el área de terminación y productividad de pozos.

En el año 2013 se incorporó al Equipo de diseño del Activo de exploración aguas profundas sur y actualmente se encuentra laborando en el Activo de exploración de aguas profundas como Ingeniero de diseño de terminación.

### **Isaura López Mera**

Ingeniera Petrolera egresada de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional.

En el año 2006 comenzó su carrera profesional en Petróleos Mexicanos como Ingeniera de soporte y diseño en la Subgerencia de ingeniería y diseño de la División marina.

En el año 2008 laboró como Ingeniera de proyecto de la División marina.

En el año 2010 se incorporó a la Unidad operativa Ku Maloob Zaap como Ingeniera de diseño.

Del año 2011 a la fecha se encuentra laborando como Ingeniera de diseño y soporte operativo en la Unidad de perforación aguas profundas.