

Oportunidad de reactivar la producción de campos petroleros maduros y asegurar los proyectos de explotación, con la adquisición de nuevos datos sísmicos

Jaime Javier Ríos López

jaime.javier.rios@pemex.com

Francisco J. Maya Alcántara

francisco.javier.maya@pemex.com

Rubén Ledesma González

ruben.ledesma@pemex.com

Edgar Serrano Casillas

edgar.serrano@pemex.com

PEP – Activo de Producción Cantarell

Ciudad del Carmen, Campeche

Información del artículo: recibido: abril de 2016-aceptado: mayo de 2016

Resumen

En el presente estudio se expone la relevancia de adquirir nuevos datos sísmicos orientados a necesidades de producción en campos costa afuera. Los datos se procesan en función del enfoque del nivel estratigráfico del que se pretende mayor beneficio para producir y para incorporar reservas según sea el caso. Hay que reconocer que aunque los grandes yacimientos de tipo estructural ya fueron descubiertos, aún existen oportunidades en otros tipos de yacimientos en trampas combinadas y de tipo estratigráfico dentro de las áreas de campos en explotación.

Ante la necesidad de producción actual, retoma relevancia en la re-exploración de yacimientos tipo estratigráfico que en el pasado no significaban competencia respecto a las grandes estructuras; sin embargo ahora se pueden tomar riesgos acompañados de planes alternos para incorporar y producir estas reservas con evidencias del funcionamiento del sistema petrolero, campos productores análogos, aunado al entendimiento en el comportamiento dinámico de yacimientos tipo estratigráficos y trampas combinadas.

Los planes de geociencias en el sector noreste de aguas someras, mantienen en la mira el fortalecimiento y certidumbre en los proyectos de explotación de reservas en los campos que se encuentran en ejecución, y ante la perspectiva de restituir las reservas en mediano y largo plazo, se estudian casos con reserva potencial para planear los respectivos casos de negocio, a fin de apoyar los programas de producción, sin depender de los ritmos de trabajo y labores netamente exploratorias.

En el año 2015 se adquirieron más de 1570 km² de sísmica de última generación y se procesaron con técnicas avanzadas para asegurar los proyectos de explotación y reactivar la producción de campos maduros. Ello implica mejorar la definición de la arquitectura de los yacimientos e identificación de rasgos estratigráficos, mejorar la imagen sísmica del subsuelo afectada por estructuras cabalgantes, acondicionamiento para análisis predictivos de fracturamiento y calidad de yacimientos, precisión de los modelos en profundidad.

Palabras clave: Adquisición de nuevos datos sísmicos, re-exploración de yacimientos, sísmica enfocada a proyectos de explotación y desarrollo de campos.

Opportunities to reactivate the production in mature oil fields, to assure the development and exploitation projects, with the acquisition of new seismic data

Abstract

In this research exposes the relevance to get the new seismic data that lead to the needs of some Production Assets in offshore fields. The data is processed from stratigraphic level approach which seeks greater benefit to produce and incorporate reserves as appropriate. We have to recognize, although the big structural type reservoirs were already founded, it still exists opportunities in different reservoirs of mixed traps and stratigraphic types inside zones of productions fields.

The needs of current production take relevance in the re-exploration of stratigraphic reservoirs that before did not mean a challenge with the great structures; however nowadays can take logs with alternate plans to incorporate and produce these reserves with the evidences of operation of the system petroleum, neighbor producers fields, coupled to understanding in the behavior of stratigraphic dynamics reservoirs and mixed traps.

The geosciences plans in the shallow water northeast zone are keeping on look the strengthening and certainty in the reserves production projects of the fields that are operating and the prospect to restoring reserves medium and long terms, it study some cases with a potential reserve to design the respective business cases, to support the production programs without depending of the pace of work and purely exploration work.

In 2015 it was acquired more than 1570 km² seismic of ultimate generation and it will process with advanced techniques to ensure the production projects and reactive the production of the mature fields. This implies: better define of reservoir architecture and identify the features stratigraphic, better the seismic image of the affected subsurface by over thrust fold structures, conditioning for predictive analysis of fracturing and reservoir quality, accuracy of models in depth.

Keywords: Acquisition of new seismic data, re-exploration of stratigraphic reservoirs, seismic data focused to exploitation and oil field development projects.

Introducción

Los planes de adquisición sísmica en la Región Marina de Campeche han estado ligados a historias de éxito, no fueron casualidades. En el presente trabajo se argumenta y justifica la importancia de contar con datos sísmicos con la resolución vertical y horizontal para los objetivos establecidos y de acuerdo a las etapas de vida de los yacimientos.

En 1978 se hace la primera adquisición sísmica 3D con cable remolcado en el área de Cantarell y al año siguiente se inició el desarrollo, ya para 1981 se alcanzaba una plataforma de producción de 1 MMbpd. En 1996 se adquiere una nueva sísmica 3D OBC en el área de Cantarell y un año después se inició la etapa de máxima rentabilidad del mayor proyecto de explotación de Pemex, que llegó a alcanzar 2.3 MMbpd en el año 2003. En el área de KMZ en 1999 se

adquieren nuevos datos sísmicos 3D OBC y con los estudios derivados de estos nuevos datos, se registran incrementos volumétricos de aproximadamente 30%.

Existen casos concretos en el área de Cantarell, con evidencias basadas en el comportamiento de pozos, de un mayor volumen al que se estima con métodos sísmicos y geológicos. Sin embargo, la comprobación de esa expectativa está sujeta a la certidumbre que ofrezca la nueva información sísmica. La resolución de la información sísmica de 1996 continúa siendo una limitante para asumir riesgos en las propuestas para incorporación de reservas en áreas potenciales.

Geocientíficos del Activo de Producción Cantarell, (APC) cuentan con análisis de relaciones volumétricas versus áreas donde determinan un par de áreas con por lo menos

tres veces más potencial de reservas respecto al registrado oficialmente, en una de ellas ya se tomó la decisión de perforar un pozo estratégico (C-3011), con riesgo geológico, pero que sin duda, con el procesamiento de los datos sísmicos recientemente adquiridos, se dará certidumbre a este tipo de localizaciones propuestas por especialistas del APC, que impactará en la incorporación de reservas.

Por otra parte, en el área de KMZ se tiene un hallazgo reciente de un yacimiento tipo estratigráfico, que bajo ideas de estructuración tradicional no hubiera sido posible incorporar a producción.

Con los nuevos datos sísmicos se pretende rastrear trampas estratigráficas que también contribuyan en la restitución de reservas producidas.

La problemática de la restitución de reservas nos compete a todos. Urge incorporar reservas que si se puedan producir con la infraestructura existente o comercial (Ríos-López *et al*, 2013). Hay que asumir la entrega de reservas “frescas” probadas como un producto tangible hacia el cliente y no sólo como una promesa de valor, para garantizar la plataforma de producción y buscar exhaustivamente el incremento.

Todos debemos colaborar para hacer la tarea y procurar que nadie se atrase, es una labor de un auténtico equipo. Tareas que las tenemos que hacer aquí y ahora, no son para llevar al futuro, además de los planes de mediano y largo plazo que se plantean en el presente trabajo, para asegurar los proyectos de explotación en aguas someras.

Objetivos

Contar con modelos de yacimientos de alto detalle que represente las características geológicas para proponer intervalos de explotación, así como el comportamiento dinámico para fortalecer las estrategias de administración de yacimientos. Identificar oportunidades de incorporar o restituir reservas. Mitigar riesgo de inversiones en pozos de desarrollo e inyectores.

Antecedentes

La información sísmica en campos del área noreste de la Sonda de Campeche está ligada con diversos casos de éxito, **Figura 1**, desde su primera adquisición hasta nuestros días. Inicialmente con líneas sísmicas 2D se da origen al descubrimiento del yacimiento más grande del mundo costa-afuera en la segunda mitad de los 70's. A finales de esa década se realiza un levantamiento tipo “Streamer” con el que se realizan nuevos descubrimientos que actualmente son administrados por los Activos de Producción Ku-Maloob-Zaap (APKMZ) y Cantarell. El desarrollo inicial en esos campos se hace con esa información sísmica.

Los primeros estudios integrales de yacimientos de los campos gigantes Cantarell y KMZ fueron realizados por los activos de producción a mediados de los 90's, teniendo como base la interpretación sísmica de la sísmica adquirida en el año 1979, con un procesamiento de migración post-pilamiento en tiempo.

Los yacimientos que se administran en los Activos APKMZ y APC están en edades geológicas del Eoceno, Cretácico, Kimmeridgiano y Oxfordiano. En estos yacimientos se tienen más de 1000 pozos perforados y más de 35 años de historia de producción, son campos maduros. Más de 150 pozos cortaron el Jurásico total o parcialmente, por lo tanto se tiene experiencia en el entendimiento geológico y en el comportamiento de producción en dichos yacimientos.

Se cuenta con siete levantamientos sísmicos en el APC (uno de ellos infructuoso), incluyendo el adquirido recientemente en 2015. Algunas de las adquisiciones sísmicas fueron con coberturas incompletas para los yacimientos en producción, lo cual complicaba sus interpretaciones. La reciente adquisición sísmica cuenta con cobertura para los yacimientos con mayor reserva probada desarrollada produciendo, costa-afuera de México.

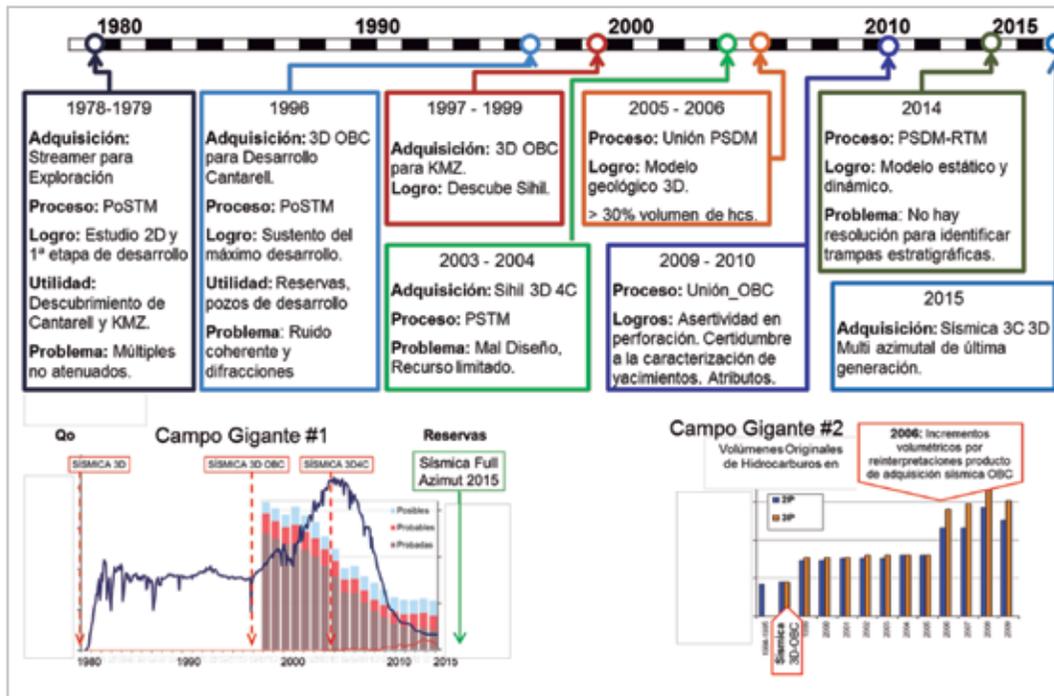


Figura 1. Principales eventos relacionando los descubrimientos e impacto de adquisiciones y procesamiento de datos sísmicos con las reservas y desarrollos en campos gigantes costa afuera.

Planteamiento de las necesidades de mejorar la información sísmica

Los grandes yacimientos del sector noreste de aguas someras que iniciaron sus desarrollos intensivos hace 20 años y algunos de ellos hace poco más de 30 años, actualmente están en etapas de madurez y de declinación. Sin embargo, sus reservas remanentes ahora requieren mayor intelecto y tecnología para maximizar su recuperación.

Para estos nuevos retos de explotación se requieren modelos de yacimientos de alta resolución cuyo insumo base es la información sísmica y el mejoramiento de la misma; ya que los datos existentes presentan diversas problemáticas para poder enfrentar necesidades prevalecientes en las actuales etapas de explotación de los yacimientos de KMZ y Cantarell.

Problemáticas en interpretación sísmica

Los esfuerzos en reprocesamiento e interpretación hasta hoy han sido positivos pero con alta incertidumbre para proyectos futuros de explotación. Se realizó el análisis de las limitaciones de adquisiciones previas y comprensión del agotamiento tecnológico en relación a los reprocesamientos de los datos disponibles. Se tienen las siguientes problemáticas:

- Baja resolución sísmica vertical debido a la atenuación de frecuencias altas: esto afecta al mapeo de unidades de los yacimientos y la realización de trabajos de inversión sísmica.
- Resolución sísmica horizontal limitado: esto afecta a la imagen de las fallas y corredores de fracturas.
- Iluminación inadecuada del yacimiento: esto afecta a la imagen de los yacimientos profundos.
- Pobre relación señal-ruido: esto afecta a la precisión de amplitudes y determinación de litología, fluidos y otros atributos sísmicos
- Transmisión de energía sísmica a través de una estructura geológica compleja de Akal, con altas velocidades y el efecto del casquete de gas.
- Los atributos no son resolutivos ni confiables para identificar litofacies per se, en especial si se considera la profundidad y el tipo de litología del objetivo que consiste de carbonatos y dolomías.
- Problemas en el control de velocidades para la conversión a profundidad.

Limitaciones de los datos de origen

Dadas las características de la adquisición, (onda compresional) de los datos sísmicos de los levantamientos sísmicos existentes, como longitud del cable, número de canales, tamaño de Bin, orientación de la adquisición, etcétera; a los que se les han aplicado procesos tales como: PoSTM, PSTM, PSDM RTM anisótropa, entre otros, se puede considerar que ya se ha llegado al límite de mejoría alcanzable con dicha información sísmica.

Debido a que siguen existiendo problemas de asertividad en la estimación de columnas geológicas, además de que no hay predictibilidad para contrastes litológicos laterales

de las formaciones donde están los yacimientos, **Figura 2**, que actualmente revisten mayor interés, se propuso llevar a cabo una factibilidad para la adquisición de nuevos datos sísmicos, (Maya-Alcántara *et al*, 2013).

Infortunadamente algunas opiniones de personal técnico que participan en la toma de decisiones creen que las limitaciones de un levantamiento sísmico deben ser corregidas en el procesamiento; sin embargo, el procesado de la información esencialmente intenta mejorar la imagen empleando algoritmos más complejos, sin embargo, siguen siendo los mismos datos grabados en el campo con sus limitaciones.

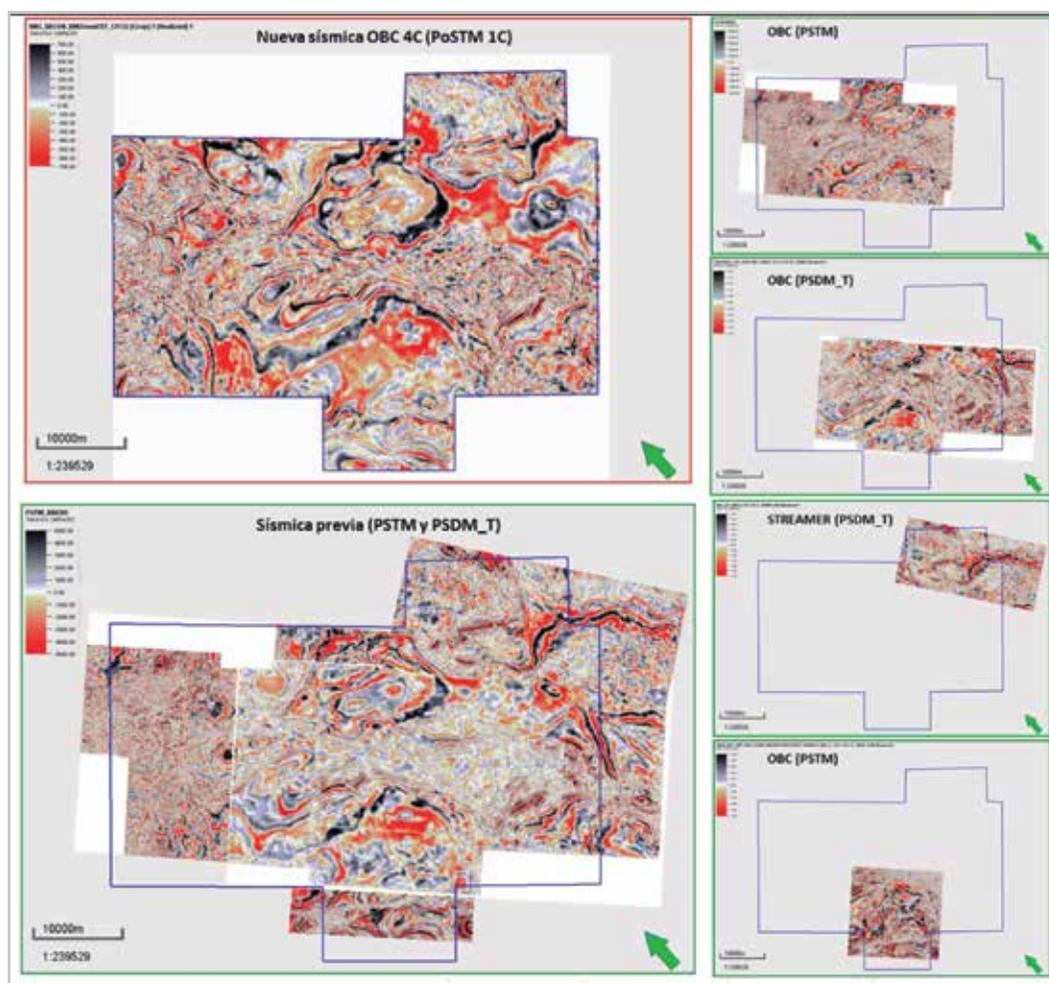


Figura 2. Comparación entre la nueva sísmica, (arriba izquierda) y la existente (abajo y derecha) sobre los campos existentes en un corte a tiempo constante (3100 ms), indicando el tipo de adquisición y proceso aplicado a cada uno.

Las principales limitaciones analizadas de los datos con los que actualmente (hasta inicios de 2016) se realizan interpretaciones son:

- La pobre calidad de los datos debido al bajo apilamiento. Con este bajo apilamiento la relación señal/ruido y la resolución se ven severamente afectadas.
- El bajo apilamiento afecta los *offsets* cercanos. Este factor impacta en la resolución, y son esenciales para remover los eventos múltiples en el procesamiento, ya que en las áreas de Cantarell y KMZ los múltiples son un problema significativo; adicionalmente dichas trazas son las que cuentan con más altas frecuencias.
- Las frecuencias en la migración final están contenidas en un ancho de banda entre 6 y 18 Hz. Esto indica que una considerable cantidad de altas frecuencias (entre 40-45 HZ) se han perdido durante el procesamiento o nunca se grabaron en campo debido a los parámetros de adquisición a la respuesta natural de las rocas.

Por otro lado, los análisis de velocidades resultarán poco confiables o poco precisos perjudicando a la migración y a la resolución espacial/estructural. El aumento de la “huella de adquisición” en la parte somera, no permite mapear adecuadamente los reflectores someros perjudicando la construcción de los modelos. En la **Figura 3** se presentan los diferentes parámetros empleados en los levantamientos OBC para el APC y cercanos.

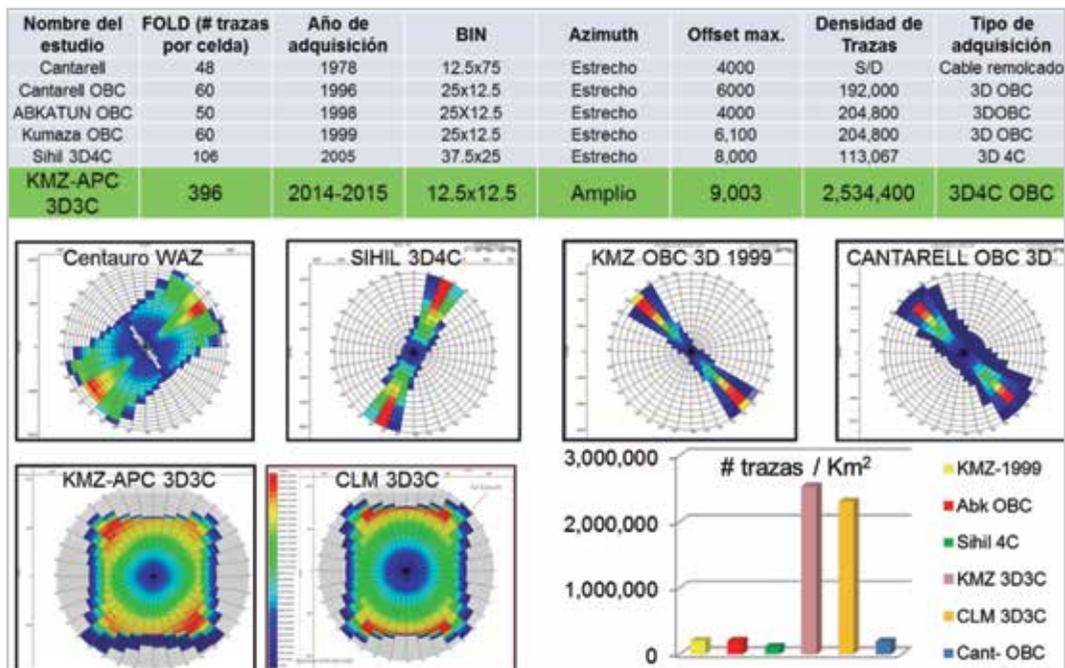


Figura 3. Comparación de geometrías de otros levantamientos sísmicos OBC.

Retos de interpretación con la nueva información sísmica

Con los nuevos datos sísmicos multicomponente se pretende dimensionar con mayor precisión la arquitectura externa e interna de los yacimientos. La parte interna de los yacimientos requiere de la identificación de calidad de roca apoyada con atributos o rasgos sísmicos predictivos. Se requiere el mayor control de velocidades para mejorar

la resolución espacial estructural y además se darán las condiciones para una interpretación de alta resolución.

En el plan de atención a proyectos de explotación se tomó la iniciativa de ir tras la calidad del dato sísmico en términos de resolución, con muestreo más denso, y con más trazas que combinar en cada celda que permita mejorar la relación señal/ruido. Con mayores densidades de trazas, se obtendrán mayores apilamientos y en consecuencia se podrá mejorar el contenido de altas frecuencias.

Adicionalmente, con los datos de las ondas convertidas se espera poder determinar parámetros elásticos que nos permitan diferenciar tipos de litologías (relación V_p/V_s), mejorar la imagen sísmica afectada por casquetes de gas y apoyar la caracterización de los yacimientos del APC (Ríos-López y Maya, 2014).

Metodología

Se establecieron los objetivos, etapas críticas e hitos. Se identificaron las mejores formas de hacer los trabajos, acompañadas de planes alternos y se investigaron las tecnologías que cubrieran las necesidades, **Figura 4**.

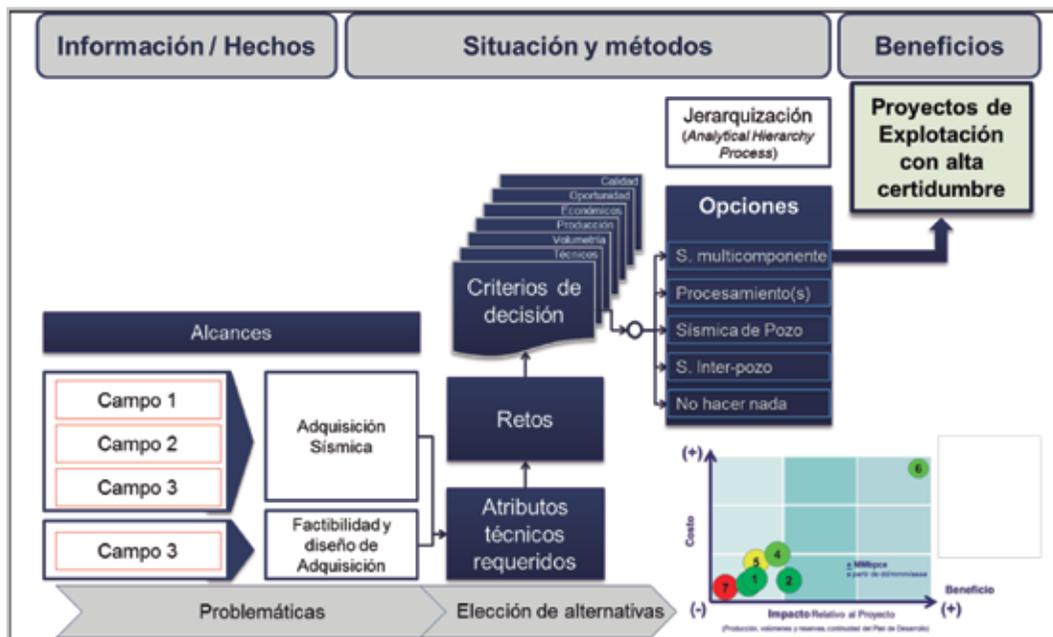


Figura 4. Metodología para el análisis y selección de tecnologías para adquirir datos sísmicos.

Se realizó un análisis para definir atributos técnicos que resolvieran problemas de interpretación sísmico-geológica. Se definieron los criterios para escoger la tecnología para resolver la problemática asociada a la confiabilidad de los modelos de yacimientos para propósitos de producción, y con ellos evaluar propuestas y opciones: fortalezas técnicas, volumétricos, reserva-producción, económicos, oportunidad y calidad.

Se ponderaron los criterios para seleccionar la opción mediante comparaciones pareadas de atributos con la técnica de jerarquización AHP, *Analytical Hierarchy Process* (Saaty, 1990), como se muestra gráficamente en la **Figura 5**.

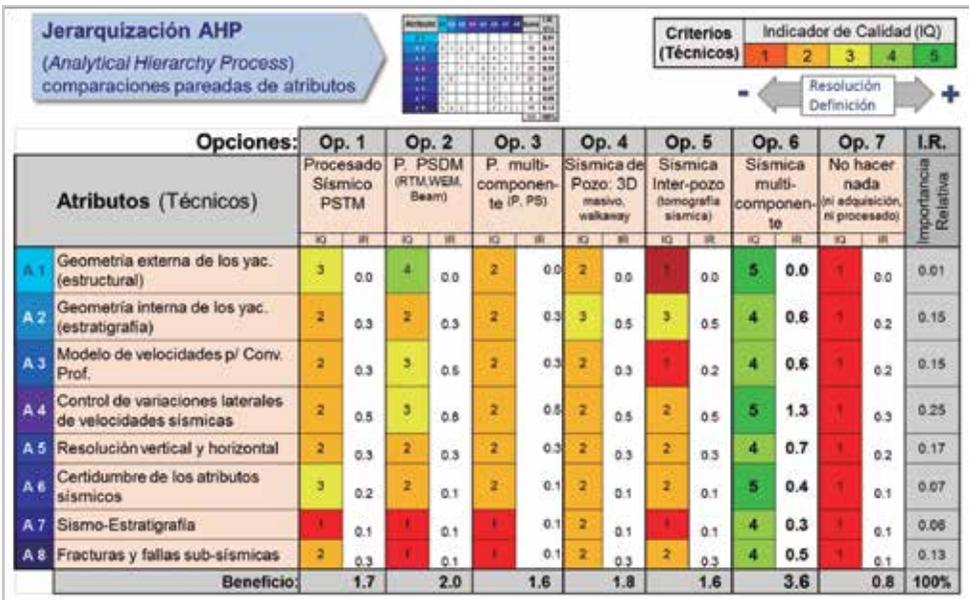


Figura 5. Valoración de atributos técnicos para selección de la opción con mayor costo-beneficio, se considera la importancia relativa e indicadores de calidad para las opciones y atributos, analizados.

Los criterios volumétricos y de reserva-producción, tienen alto impacto a los proyectos futuros de explotación y de re-exploración de hidrocarburos en las áreas adjudicadas a Activos de Producción, basados en antecedentes de los yacimientos en aguas someras y considerando indicadores de productividad y su relación volumétrica por área, (MMbbls/km²).

En los criterios económicos se consideraron los indicadores que incidieran hacia el proyecto, no sólo costos de adquisición y procesamiento, **Figura 6**. Se valoraron las

inversiones incluyendo número de pozos adicionales, valor presente neto y periodo de recuperación.

En relación al criterio de oportunidad para el proyecto se revisaron los planes de producción desarrollo y aprovechamiento de infraestructura y desde luego, los pozos a perforar a partir del último trimestre del 2016; priorizando pozos estratégicos para el desarrollo complementario, jerarquizando más de 80 localizaciones de desarrollo y seis pozos inyectores.



Figura 6. Análisis para seleccionar la tecnología más conveniente para el procesamiento. En este caso los criterios de decisión se ponderaron para dar mayor valor a la calidad de los productos.

Expectativas y valor técnico esperado

Con la nueva adquisición de datos sísmicos basada en un diseño enfocado a objetivos de caracterización de yacimientos, utilizando la tecnología de vanguardia de adquisición y de procesamiento, se espera que mejore la imagen sísmica en los campos de los Activos de Producción KMZ y Cantarell, el primero con enfoque a yacimientos del Cretácico y el segundo a nivel Jurásico.

El nuevo levantamiento debe dar lugar a una gran cantidad de datos mejorados: (a) en términos de resolución con muestreo más denso y (b) en la relación señal/ruido, con más trazas que combinar en cada celda.

De acuerdo con Maya-Alcántara *et al* (2015), la necesidad de contar con una nueva información sísmica en las actuales etapas de explotación de los yacimientos de KMZ y Cantarell se valora por la optimización de recursos, inversiones y éxito de la actividad física asociada con estos proyectos, entre ellos:

- Estimación de volúmenes de aceite remanente.
- Minimizar riesgos de perforar pozos de desarrollo, en áreas de drenaje restringido o con aceite "bypaseado".
- Redefinir # pozos y su posicionamiento. Mayor resolución para el posicionamiento trayectorias y de intervalos productores en pozos no-convencionales y horizontales.
- Extender la vida útil de pozos de desarrollo atravesando varias unidades productoras, (multi-objetivos).
- Producir hidrocarburos en ventanas reducidas de explotación y en estructuras de bajo relieve
- Soporte en la optimización de las estrategias de recuperación secundaria y mejorada, encaminadas a obtener la máxima recuperación de hidrocarburos.
- Posibilitar la incorporación y restitución de reservas. Rastrear oportunidades de trampas estratigráficas.
- Re-exploración y reactivación de producción de campos maduros.

Orientación de la adquisición sísmica

Para decidir sobre la tecnología, parámetros, dimensiones y características de una nueva adquisición sísmica que cubriera las necesidades de caracterización de yacimientos y detección de oportunidades en campos maduros, (Maya-Alcántara *et al*, 2013), se realizó un estudio de iluminación, trazado de rayos y modelado sintético con diferencias finitas.

De acuerdo a los análisis realizados, la nueva sísmica multicomponente tendrá mayor densidad de trazas, mayor cobertura o *fold*, mejor contenido de frecuencias, distribución acimutal completa. Estas características garantizan que se mejorará la imagen sísmica para estudios de anisotropía, fracturas, AVO acimutal, inversión sísmica y atributos.

Con el objetivo de caracterizar los yacimientos para posicionar pozos a perforar y a repararse, fortalecer los proyectos de explotación de los yacimientos e identificar nuevas oportunidades y reservas, se propuso la adquisición de nuevos datos sísmicos que mejore la relación señal/ruido y que permita tener un modelo de velocidades más certero.

El nuevo estudio sismológico consideró desde la etapa de diseño, los antecedentes críticos que podrían afectar los resultados, como son:

- Incremento en el ruido ambiental, (causado por la extracción y transporte de aceite).
- Corrientes submarinas debido a la profundidad del agua.
- Incremento en número de instalaciones, tuberías, barcos, radio de exclusión.
- Adquisición sísmica simultánea de otros estudios que pudieran interferir la señal.
- Vientos, oleajes, sismos, fallas mecánicas en los barcos y equipos, zonas de pesca reservadas, etc.

La nueva adquisición tiene una orientación de líneas receptoras a favor de echado de las estructuras tanto

Jurásicas como Cretácicas, así como una distribución completa de acimuts y con *offsets* máximos de 9 km en promedio, permitiendo iluminar de mejor manera los objetivos.

La amplia distribución de *offsets* largos favorecerá el análisis anisotrópico de velocidades y construcción del modelo de velocidades.

Dado que el porcentaje de apilamiento es mayor en una relación de 5 a 1 con respecto al original, permitirá realizar mejores análisis en datos antes de apilar, así como mejoraría la calidad de las inversiones sísmicas. Adicionalmente, se contará con la onda convertida que servirá para estudios de fracturas en los yacimientos, con lo cual se hará un mejor posicionamiento de trayectorias e intervalos de explotación.

Orientación del procesamiento de datos sísmicos

Se propone llevar a cabo una secuencia de adquisición y alternar los trabajos de procesado e interpretación coordinadamente para tener mayor cobertura en yacimientos de interés y en orden de su potencial volumétrico, de tal forma que tan pronto se adquieren los datos, de inmediato se realiza su adecuación-procesamiento en tiempos optimizados.

El planteamiento del procesamiento está enfocado a necesidades de producción, **Figura 7**. Han sido los geocientíficos del Activo quienes definen los objetivos del proceso para áreas específicas, a fin de que los productos sean aprovechados para estudios enfocados a las necesidades de desarrollo y producción, con procesos para generar volúmenes sísmicos de la A a la Z en etapas que permitan interpretación simultánea y anticipar pozos estratégicos.

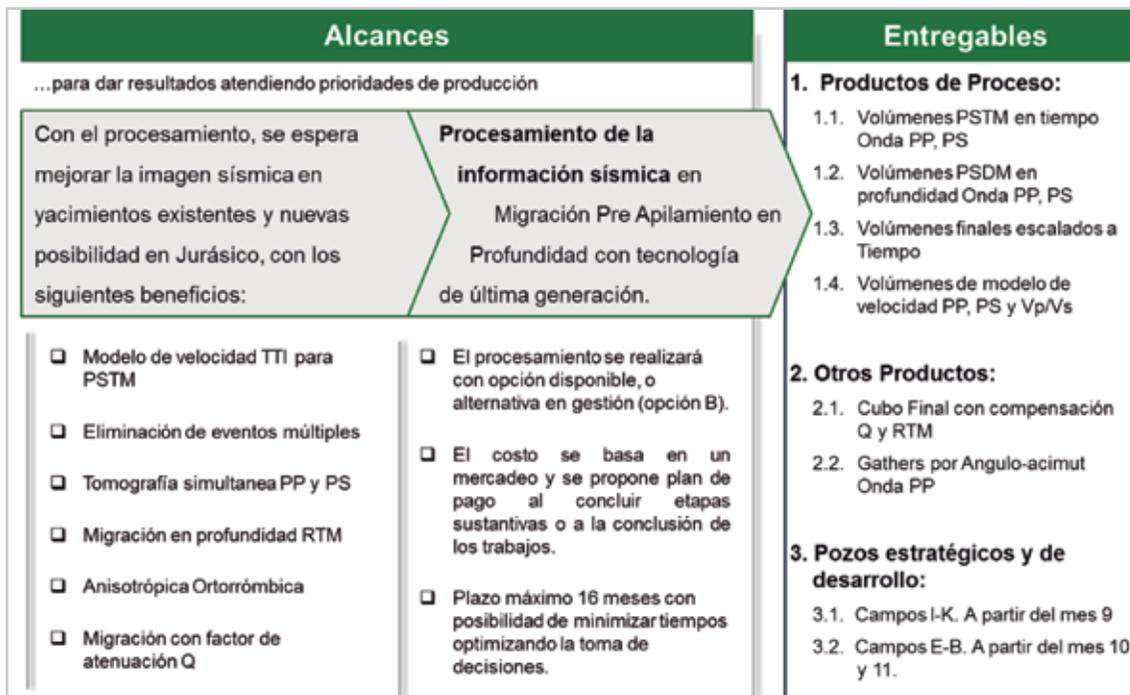


Figura 7. Alcances y entregables de procesamiento sísmico.

El enfoque en los resultados para producción es lo más importante, por ello es conveniente sólo hacer lo que se necesita y de la mejor forma, con orden y organización.

Para esta etapa se propuso la supervisión directa del área usuaria a fin de hacer efectiva la toma de decisiones, **Figura 8**, optimizar tiempos de proceso, evitar distracción de objetivos y aumentar la probabilidad de obtener buenos resultados. Las recomendaciones que se establecieron para el procesamiento, son:

- Hacer procesos con estricto control de calidad a cargo del área usuaria, para evitar reprocesos.
- Establecer los puntos de control e hitos en el proyecto para QC y toma de decisiones.
- Hacer procesos en paralelo, tanto como sea posible, para acortar tiempo y entrega final.
- No hacer procesos «para salir del paso»

<p>Liderazgo con <i>empowerment</i>, experiencia y capacidad para:</p> <ul style="list-style-type: none">❑ Tomar decisiones: en el análisis de pruebas para optimizar tiempos y flujos de trabajo. Hacer preguntas correctas en momentos precisos.❑ <i>Mindfulness</i>: Concentración 100%, conciencia plena de lo relevante... estar alerta de datos de salida e implicaciones.❑ Trabajar «en concierto» para llevar bien las actividades empalmadas y evitar andar con el "piloto en automático".❑ Trato directo entre el Líder de PEP (del área Usuaria) y el Contratista.	 <p>Equipo de Alto Rendimiento:</p> <ul style="list-style-type: none">❑ Expertos del área usuaria: 1 Líder experto en proceso e interpretación + interprete(s).❑ 2 de Exploración: 1 administrador de contrato + 1 intérprete.❑ 1 Asesor <i>Champion</i> con antecedentes en Pemex con honores.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 8. Plan para la supervisión y avance del procesamiento.

Orientación de los trabajos de interpretación sísmica

Los nuevos datos sísmicos tienen diversas aplicaciones en razón de las problemáticas de las áreas que se van a interpretar. Es por ello que en el procesamiento participan expertos del área usuaria con experiencia tanto en adquisición, proceso e interpretación, quienes tienen presente que se dará la siguiente utilidad a las interpretaciones sísmicas:

- Impactar en la recuperación de reservas con el posicionamiento de pozos estratégicos, de desarrollo e inyectores. Disminuir riesgos de trayectorias en pozos no convencionales y horizontales. De ser necesario,

reubicar las propuestas existentes y redefinir el número de pozos, **Figura 9**.

- Apoyar en la solución de los problemas que se tienen en el desarrollo de los campos: canalización del gas de inyección, producción temprana de agua, baja productividad, caracterización de fracturas, distribución tridimensional de propiedades petrofísicas. Esto requiere identificar áreas propicias para intervalos de explotación.
- Dar mayor certidumbre a los volúmenes originales y remanentes. Soporte en las estrategias de recuperación secundaria y mejorada, encaminadas a obtener la máxima recuperación de hidrocarburos.

Para mantener el foco de atención y prioridades de los proyectos de explotación, se debe cuidar que haya objetividad, continuidad, experiencia y método. Ello es importante para procurar la mejora continua en los modelos llevando a cabo sólo estudios complementarios

que generen beneficio económico tangible. Aprovechar experiencias de gente en yacimientos desarrollados para buscar nuevos campos. Seguir flujos de trabajo funcionales antes de crear nuevas.

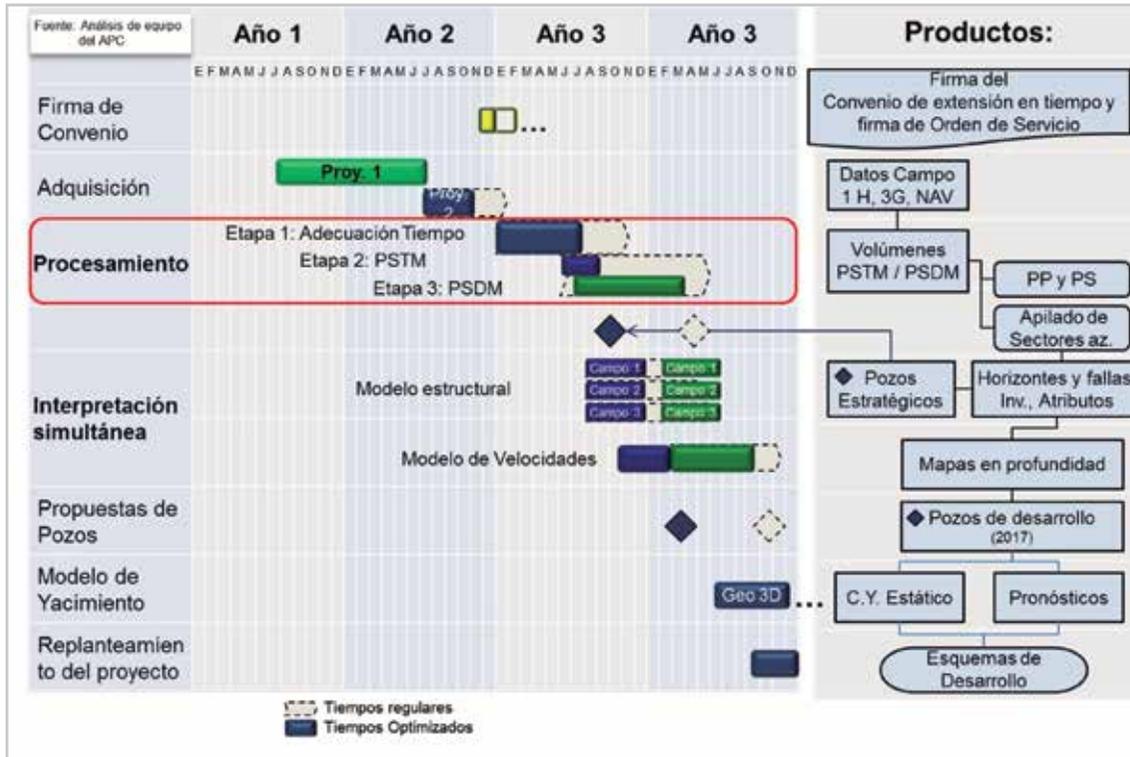


Figura 9. El programa de trabajo que se ha llevado para la adquisición, es parte de una planeación estratégica para proponer pozos en forma simultánea al procesamiento sísmico.

Plan para los trabajos de interpretación sísmica y geológica

Algunas propuestas iniciales para el análisis de la re-orientación de la estrategia que se realiza costa-afuera, son:

- A. Estrategia inmediata y de corto plazo. Incluye la revitalización de campos, re-explorar incluyendo objetivos estratigráficos, probar oportunidades con infraestructura existente.
- Incorporar reservas que se puedan producir con obras existentes. Aprovechar el costo de oportunidad. Probar donde se tengan más posibilidades de producir lo que se incorpore.

- Minimizar riesgo de perforación y adicionar plan alternativo al pozo “estratégico” para recuperarlo en otro yacimiento.
- B. Estrategia de mediano plazo. Incluye las incorporaciones en zonas aledañas con toma de información enfocada a desarrollar y producir; jerarquización de áreas considerando antecedentes de éxitos de explotación.
- C. Estrategia de largo plazo. Prácticas usuales en los activos de exploración.

Beneficios de los nuevos datos sísmicos

Con la disponibilidad de información sísmica de alta resolución se aportará valor técnico y económico a proyectos de explotación y la identificación de nuevas oportunidades mediante la re-exploración en áreas de campos maduros, donde lo que se incorpore de reservas tendrá un impacto inmediato o hasta de mediano plazo en la producción.

El caso de negocio que se expuso a las autoridades para la procedencia del proyecto sísmico, se basó en un escenario conservador, donde con sólo mostrar un área con reserva potencial incremental sin inversiones de infraestructura adicional, se exponía la ganancia de perforar entre 5 y 8 pozos, producto de la nueva sísmica, con un valor presente neto de 1050 MMD o 1400 MMD respectivamente, con una tasa de retorno de + 40%, **Figura 10**.

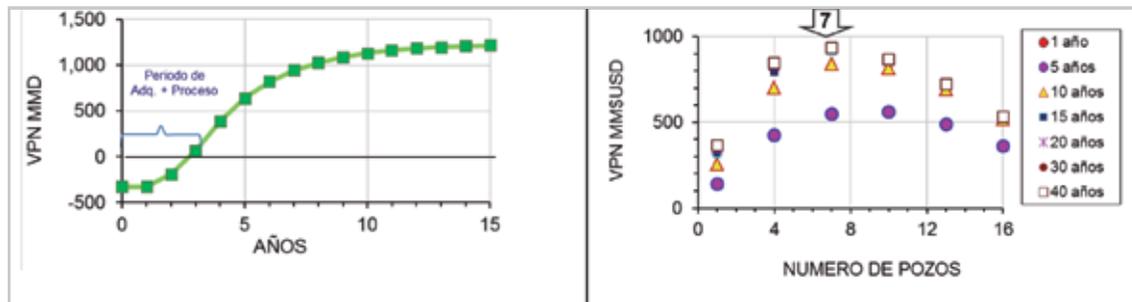


Figura 10. Para un volumen de 600 MMB y reserva original de aceite (ROA) de 57 MMB, de manera conservadora y con pura recuperación primaria. El caso se analiza con el supuesto de nueva reserva y la propuesta de pozos nuevos, no considerados en programas operativos. Se toma como referencia el yacimiento JSK sin considerar el crecimiento adicional que detonen dichos pozos.

Aportación de valor en proyectos de explotación

La información sísmica de alta resolución que se dispondrá para las interpretaciones, una vez que se procesen los datos, tendrá impacto positivo en varios proyectos de explotación que a continuación se describen.

Definición de estructura y contrastes litológicos para precisar la extensión del yacimiento Sihil JSK y volumen incremental con la calibración de datos de VSP *offset* cero, VSP tipo Walkaway, VSP 3D y las respectivas pruebas de producción del pozo C-3011.

Disminuir la incertidumbre en zonas con alta complejidad geológica donde el posicionamiento de pozos de relleno ha sido de alto riesgo, pero representa alto potencial debido a que son áreas escasamente drenadas.

Posicionar los pozos de desarrollo a perforar a partir de (POT-1) 2017, con análisis de certidumbre estructural para los yacimientos del APC. Evitar riesgos en las inversiones.

Proponer pozos multi-objetivos en Akal-Sihil, con extensión de vida útil y máxima recuperación de reserva-producción.

Mejoramiento de modelos predictivos para explotar las reservas remanentes. Realizar estudios de geociencias e ingeniería para apoyar en la solución de los problemas que se tienen de canalización y/o conificación de agua, irrupciones tempranas de gas, baja productividad, zonas con depresionamiento anómalo, etc.

Soporte en la optimización de las estrategias de recuperación secundaria y mejorada, encaminadas a obtener la máxima recuperación de hidrocarburos. Dar mayor certidumbre a los volúmenes originales y remanentes. Impactar en la recuperación de reservas con el posicionamiento de pozos de desarrollo e inyectores de proyectos de explotación de doble desplazamiento y de EOR.

El proyecto de explotación de E-B tiene producido una cuarta parte de su factor de recuperación total. En dicho proyecto se pretende perforar casi el mismo número de pozos existentes para extraer toda su reserva, para ello los pozos deben ser bien planificados y con trayectorias precisas que aterricen con tramos horizontales en la zona de explotación a más de 4000 metros de profundidad. Es primordial la calidad de interpretación sísmica. De ser necesario, se reubicarán las propuestas existentes y se podría redefinir el número de pozos.

Aportación de valor de re-explorar

La adquisición y procesamiento de datos sísmicos generalmente se asocia con proyectos de mediano y largo plazo, aquí se justifica con una visión de continuidad del negocio petrolero, de mantener la producción en áreas desarrolladas y contribuir en la restitución de reservas que se incorporen inmediatamente a producción, agilizando en lo posible, el procesos de reclasificaciones.

Las posibilidades de allanar el camino a reservas en trampas estratigráficas en campos desarrollados donde se explotan principalmente yacimientos de tipo estructural y eventualmente combinadas, puede representar de interés para un activo de producción debido a que se abatirían costos con el aprovechamiento de la infraestructura.

Hasta hoy las trampas estratigráficas siguen pareciendo de bajo potencial y alto riesgo, posiblemente marginales o no bien ponderadas por tratarse de yacimientos carbonatados donde es difícil definir límites laterales y verticales, que cuando compiten en una cartera de oportunidades exploratorias donde generalmente se favorecen las trampas estructurales con límites estructurales fáciles de inferir; prácticamente se descalifica a las trampas estratigráficas.

Es ahí donde está la oportunidad de proponer pozos estratégicos de riesgos compartidos, Exploración y producción, pero con el potencial beneficio de producir en corto una reserva adicional que puede redimensionar el desarrollo aminorando costos de extracción por la disponibilidad de infraestructura existente o cercana, y que a la vez cuenta con planes alternativos para rescatar el pozo en una situación adversa y/o alargar la vida útil al atravesar otro(s) yacimientos en explotación.

Hoy día, existe madurez del conocimiento para la re-exploración en campos maduros, se ha desarrollado la experiencia en explotación de yacimientos además del entendimiento propio de exploración y desarrollo de campos costa afuera en aguas someras.

Incrementos volumétricos potenciales

El incremento de factor de recuperación de hidrocarburos en los yacimientos, está relacionado con la certidumbre de los modelos de yacimientos, la base de cualquier modelo geológico de yacimientos petroleros son los datos sísmicos.

Existen casos concretos en áreas de campos maduros como KMZ y alrededores de Cantarell, donde se visualizan trampas de bajo relieve, trampas combinadas (estructural-estratigráficas)

y trampas estratigráficas que desafían la tradicional forma de explorar para la incorporación de reservas. Ciertamente los datos sísmicos existentes han sido factor de riesgo a las inversiones, sin embargo se abren posibilidades de re-explorar con la disponibilidad de nuevos datos sísmicos de alta resolución.

En un área que por razones de estudio en progreso no es conveniente precisar en tanto que se valida y aprueba, se han hecho cálculos de aceite original estimando más del doble de certificado para un yacimiento en explotación en esa área. La incertidumbre se mitigará con la interpretación de datos sísmicos recientemente adquiridos, con la ventaja que para la explotación de reserva asociada, es aprovechable la infraestructura de producción. Esa reserva se incorporaría y clasificaría como reserva probada produciendo, casi en forma inmediata.

El soporte de una nueva información sísmica es determinante para la perforación de los pozos estratégicos para los desarrollos complementarios que se requieren para la reserva potencial mencionada. Los trabajos de procesamiento e interpretación sísmica para esa reserva potencial están controlados por el equipo de especialistas de geociencias de producción.

Prueba de validez para el aseguramiento de proyectos futuros

Un caso que ha sido producto de interpretaciones realizadas por especialistas del APC es el horizonte Jurásico de Sihil, en donde se visualizaban incrementos volumétricos y que también fue parte de la justificación para adquirir nuevos datos sísmicos que permitieran disminuir riesgos para la potencial incorporación de reservas, (Ríos-López y Maya, 2014).

En 2014 se realizó una actualización de la interpretación sísmica del horizonte Sihil JSK, (Cabrera-Cuervo *et al*, 2014) así como de áreas aledañas al mismo, identificándose tendencias de encontrar mejores Facies en extensiones del citado yacimiento. En 2015 se hace un nuevo reproceso PSDM-RTM del dato sísmico, para mejorar el campo de velocidades y reducir incertidumbre en áreas extensionales mencionadas, en donde se decidió proponer la ubicación del pozo estratégico C-3011, (Ríos-López *et al*, 2015a).

En el programa de perforación se consideran los datos básicos con la ubicación del pozo, (Ríos-López, 2015), la trayectoria, sustento geológico perforar 550 metros dentro de la Formación JSK, así como el plan de mitigación de riesgos durante la ejecución.

Aunque la mejora en interpretación estructural es sustancial a partir del último reprocesamiento RTM mencionado, el dato sísmico presenta bajo contenido de frecuencias de origen y en consecuencia baja resolución, por lo que se considera que el mismo no cumple con las condiciones técnicas para obtener atributos sísmicos confiables o cuantitativos, para tener capacidad de identificar las facies de mayor potencial productivo.

El sentido de urgencia y de compromiso para producir y restituir reservas probadas, ha llevado a lograr que propuestas de pozos estratégicos para desarrollos complementarios, como el C-3011, se ejecuten aún con ponderación de riesgo al objetivo de potencial de incorporación. Para contrarrestar dicho riesgo se le diseñó un plan alternativo de explotación en otro(s) horizonte(s) planificado(s) con la misma trayectoria, que a la vez agregará(n) valor al acumular mayor producción a lo largo de su vida útil.

Propuestas de pozos como C-3011 se hacen realidad en tiempos record de evaluación, que equivalen a la mitad de lo común para una propuesta convencional para incorporación de reservas, con la calidad suficiente para obtener la aprobación y para contar con inversión formal, como este ejemplo de pozo documentado en el Activo de Producción Cantarell.

A la fecha que se entrega el presente trabajo, se ejecuta la terminación del pozo estratégico C-3011 que ha reconocido alrededor de 130 metros de impregnación de hidrocarburos basado en el análisis de registros y núcleo. A partir de la información que aporte el pozo C-3011, se revalorará el volumen de hidrocarburos y la estrategia de desarrollo.

El límite convencional oficial en Sihil JSK es de 4650, cualquier metro adicional a la profundidad que agregue el pozo C-3011, será una incorporación de reservas ese yacimiento; actualmente se tienen 32 metros verticales debajo de los 4650. De haber una buena ejecución y cumplir con el programa de atravesar 550 metros de la formación, se podrán establecer los límites reales del yacimiento y reclasificar las reservas correspondientes.

El pozo estratégico C-3011 tiene impacto en cuatro procesos de PEP: reservas, caracterización y delimitación de yacimientos; desarrollo de campos y producción (administración de yacimientos). La toma de información definirá el destino del proyecto de desarrollo e influye en la explotación de éste y yacimientos que le sobreyacen.

Conclusiones

1. Los beneficios técnicos y económicos de una nueva adquisición sísmica en etapas de explotación avanzada se justifican debido a que fortalecen los proyectos de desarrollo y de explotación, identifica nuevas oportunidades de desarrollo y de incorporación de reservas en áreas de yacimientos en producción.
2. La existencia de trampas estratigráficas y combinadas aún no perforadas y/o delimitadas, es una realidad que es evidenciada debido a limitaciones de interpretación por los datos de origen; sin embargo, con conceptos desarrollados en la región y con nueva calidad de imagen sísmica se apoyará la reactivación de la producción en áreas de campos petroleros maduros.
3. Se deben de establecer los objetivos claros y priorizar las aplicaciones específicas para definir el requerimiento de adquisición y el tipo de procesamiento de datos sísmicos. Aquí se sustenta el adecuado para el tipo de yacimientos objetivo, con propósitos de desarrollo y producción.
4. La calidad de datos sísmicos y la aplicación de técnicas adecuadas para su mejoramiento impactan en la confiabilidad y predicción de los modelos de yacimientos para su administración y optimización de inversiones.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo de Héctor S. Salgado Castro, Administrador del Activo de Producción Cantarell, por el impulso a proyectos estratégicos incluyendo los de geociencias.

Referencias

- Cabrera-Cuervo, C., Pérez, E., Pimienta, M. et al. 2014. Actualización del Estudio de Caracterización Estática del JSK, Campo Sihil. Informe Técnico (Inédito), Activo de Producción Cantarell.
- Maya-Alcántara, F, Serrano, E. y Ríos, J. J. 2013. Factibilidad Técnica-Económica para Realizar Sísmica Enfocada en Yacimientos del Proyecto Sihil. Informe Técnico (Inédito), Activo de Producción Cantarell.

Maya-Alcántara, F, Serrano, E., Ledesma, R. et al. 2015, Estrategia para Trabajos Sísmicos: Optimización de Tiempos y Actividades para Generar Propuestas de Pozos Estratégicos y de Desarrollo en el APC. Informe técnico (Inédito), Activo de Producción Cantarell.

Ríos-López, J., González, M. y Correa, M. J. 2013. Estudios de Geociencias e Ingeniería para el Incremento y Reclasificación de Reservas, Iniciativa Estratégica 1.1. Informe Técnico (Inédito), Subdirección de Producción de la Región Marina Noreste.

Ríos-López, J. y Maya, F. 2014, Justificación Técnica para Realizar una Extensión al Estudio Sismológico KMZ 3D3C.

Documento Técnico (Inédito) Interno, del Activo de Producción Cantarell.

Ríos-López, J., Ledesma, R. Martínez, P. et al. 2015a, Yacimiento Sihil JSK y Áreas Potenciales. Informe Técnico (Inédito) del Activo de Producción Cantarell.

Ríos-López, J. 2015b, Datos Básicos para la Elaboración del Programa de Perforación del Pozo C-3011. Documento Interno (Pemex) PEP-SPRMNE-AAPC-CGDP-117-2015.

Saaty, T. 1990. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* **48** (1): 9–26. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-l](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-l).

Semblanza de los autores

Jaime Javier Ríos López

Es el Coordinador de Geociencias en el Activo de Producción Cantarell.

Tiene experiencia en estudios técnicos y en el diseño de planes de desarrollo y explotación en diferentes etapas de campos costa-afuera.

Ha participado con diferentes equipos multidisciplinarios donde se enfrentan problemáticas de acuerdo a la madurez de los yacimientos generando propuestas de explotación de reservas, ya sea en campos recién descubiertos, en desarrollo, implantación de proyectos de explotación, declinación; entre los que se encuentran: Ku-Maloob-Zaap, Cantarell, Ixtoc, Ek-Balam, Campos del Litoral de Tabasco, Tsimin-Xux, entre otros campos menores.

Pertenece a la AIPM, AMGP, AAPG.

Francisco J. Maya Alcántara

Cuenta con más de 30 años de experiencia en temas de adquisición sísmica, procesamiento e interpretación. Ha trabajado en compañías de exploración, en Petróleos Mexicanos en áreas de procesamiento, exploración y en producción. Actualmente colabora en el Activo de Producción Cantarell.

Rubén Ledesma González

Líder de la especialidad en geofísica y modelado estructural en el Activo de Producción Cantarell. Tiene experiencia en estudios de caracterización estática de yacimientos, modelado geológico, trabajos de reproceso e interpretación sísmica. Tiene habilidades en la construcción de modelo de velocidades, inversión sísmica y multi-atributos.

Su experiencia profesional la inició con análisis y procesamiento de datos sísmicos de reflexión, (siete años).

Edgar Serrano Casillas

Experto en procesamiento e interpretación de datos sísmicos. Cuenta con experiencia en adquisición sísmica. Presta sus servicios en el Activo de Producción Cantarell.