

## Modelado estático del campo Cantarell y verificación de predicciones con pozos recientemente perforados, Sonda de Campeche, México

*Ing. José Manuel Morales Ramírez*

*Ing. Carlos Ulises Pérez González*

*Pemex*

*Héctor Márquez Álvarez*

*Roxar*

Información del artículo: recibido: agosto de 2013-aceptado: julio de 2014

### Resumen

El bloque Akal es el más importante del campo Cantarell, de él se han realizado varios estudios de caracterización y cuatro modelos estáticos, el último denominado S-4, es el que a continuación mencionaremos; derivado de la perforación de nuevos pozos, la adquisición de más información y los cambios en ciertos criterios de interpretación de las diversas disciplinas de geociencias han llevado a la construcción de un nuevo modelo estático-dinámico de alta resolución.

En forma general este proyecto inicia con un inventario y control de calidad de la información, continuando con el modelo estructural, definiendo los diferentes niveles estratigráficos, realizando correlaciones de pozos y modelando polígonos de fallas con todas sus implicaciones, hasta llegar a un modelo geocelular, representado por un grid que tenga la resolución y orientación óptima. Se incorpora el modelo petrofísico en forma detallada y se realiza el escalamiento de pozos de tal forma que al final honre el dato con la propagación de las propiedades petrofísicas en todo el yacimiento; para el modelo de unidades litoestratigráficas, se subdividieron las unidades y formaciones principales a través de un proceso basado en la interpretación de marcas de las unidades litoestratigráficas en los pozos y con base en los registros geofísicos y análisis de núcleos. Dentro del flujo de trabajo se realizan varios controles de calidad, mediante geoestadística y realizaciones se fijan las tendencias. Todo esto conlleva a la malla de simulación de alta resolución, la cual al final se realiza la transferencia a diferentes disciplinas para su uso en predicciones de pozos.

Este modelo geológico fue construido con toda la información disponible hasta diciembre del 2011, de manera que todos los pozos perforados en 2012 se utilizaron para evaluar la efectividad y predicción del modelo, siguiendo un flujo de trabajo representado en la **Figura 1**.

En este artículo se muestran ejemplos de pozos que atravesaron total o parcialmente el Mesozoico, haciendo énfasis en la utilización del modelo para llevar a cabo la selección de las áreas objetivo de mejores propiedades de roca de yacimiento, visualización de propuestas para nuevos pozos, seguimiento de los mismos, reducción de riesgos operativos mediante la identificación de cuerpos calcáreos que generan pérdida total o parcial de lodo y atrapamientos de la sarta de perforación.

**Palabras clave:** Campo Cantarell, Sonda de Campeche, modelo estático, bloque Akal.

## Modeling the Cantarell field and static verification of predictions with recently drilled wells, Campeche, Mexico

### Abstract

Since a lot research has been performed due to the Akal block, the most important in Cantarell field, 4 static models were characterized. The S-4, the former one, will be the mentioned in this article. Recent well drilled, additional information obtained, and the change of criteria regarding the wide subjects of the Geo sciences have led us build up a new hi-fi dynamic static model .

Generally speaking, this Project begins with a stock list and a high quality record as followed by a structural model to define the different stratigraphy levels by matching wells and by modeling faults building lots which will provide us with inferences until a Geocelular model, represented by a well-defined and well-oriented grid, can be aimed. A petro physical model is added for a well scale in order to honor the facts by disseminating the petro physical properties, for the litostratigraphy unit model, the units and main formations were subdivided through a process based on traceable marks from the litostratigraphy units in the wells and it was also based on the geophysical records and the nucleus analysis. Regarding the work flown, there were a variety of geo-statistics quality control tests to set up the trends. All this takes us to the hi-fi simulation net in which the transference to different subjects to be used in well forecast will be made.

This geological model was created with all the available information until December 2011, so every single drilled well in 2012 were used to evaluate the effectiveness and forecasting of the model by trailing a work flown shown in fig 1.

Some examples of the drilled wells that went totally and partially through the Mesozoic are shown in this passage, paying attention in the use of the model created to choose the best rock properties reservoir target areas, to check proposals for new wells and to monitor them, to reduce operative risk while identifying calcareous bodies which generate a partial o total loss of mud and in the drilling catching chain.

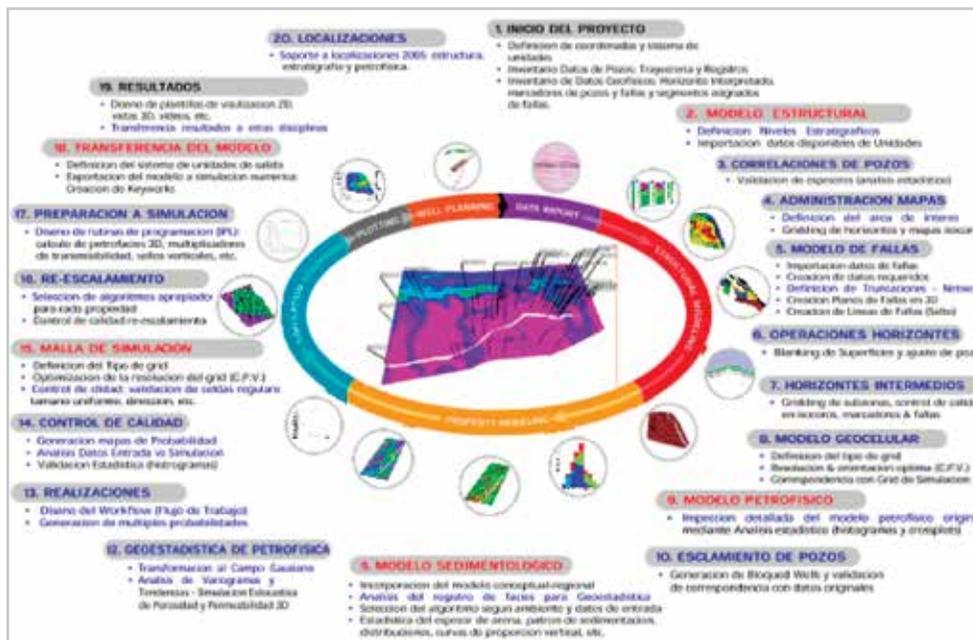


Figura 1. Flujo de trabajo para la realización del modelo geológico S-4.

El modelo generado sirve de soporte para los planes de explotación futuros, es un modelo robusto y predictivo, que basa parte de sus fortalezas en:

- a) Estricto control del modelo de velocidades.
- b) Uso de inversión sísmica y multiatributos para guiar las propiedades petrofísicas y las facies sedimentarias.
- c) Estratigrafía interna a detalle en todos los niveles de los yacimientos.
- d) Aplicación de metodología de petrofísica avanzada para la obtención de porosidad, permeabilidad y saturación de agua de los cuatro medios porosos (matriz, microvúgulos - microfracturas, fracturas y vúgulos conectados).
- e) Un modelo geológico que reproduce todas las fallas y estructuras complejas, sin simplificar la geología del subsuelo.
- f) Control de calidad del modelo vs pozos.
- g) Modelo integral de fracturas 3D calibrado con información dinámica, (DFN).

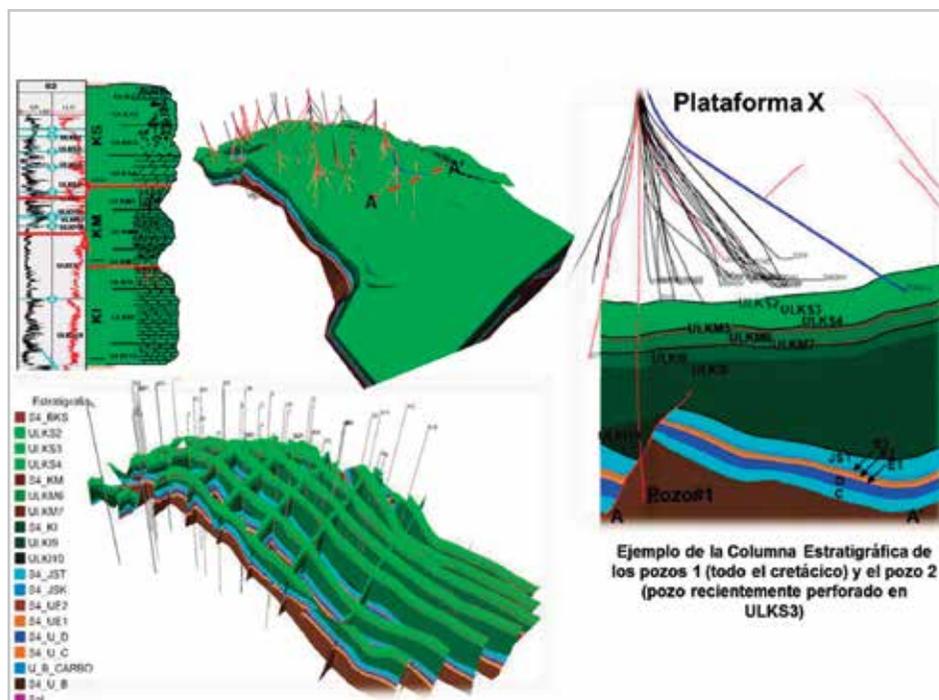


Figura 2. Fortalezas del modelo estático de alto detalle.

## Introducción

El campo Cantarell se ubica aproximadamente a 90 km al noreste de Ciudad del Carmen, en la Sonda de Campeche, **Figura 3.**

El yacimiento está conformado por carbonatos dolomitizados del Cretácico y Jurásico Superior Kimmeridgiano que alberga una reserva de alrededor de 30,000 MMB.

El campo inició su explotación en 1979, alcanzando su máxima producción en el año 2003 con más de 2 MMBPD. Posteriormente el yacimiento sufrió una fuerte caída en la producción que lo mantiene en alrededor de 205,000 BPD, (09- mayo2013).

Como un proceso natural en la vida productiva de muchos de los yacimientos maduros, la producción de aceite ha venido acompañada de un alto porcentaje de agua, aunado

a un acelerado avance del contacto de gas, lo que ha ocasionado una reducción significativa en la ventana de aceite, por lo que, la ventana dinámica operativa se ve muy reducida (700 metros originalmente y 60 metros en la actualidad) y obliga a ser muy asertivos en las propuestas de los pozos a producir.

El posicionamiento de nuevos objetivos para pozos de desarrollo tiene que hacerse cada vez de manera más minuciosa para evitar la irrupción de fluidos no deseados. Aunado a esto el campo Cantarell está clasificado como un yacimiento naturalmente fracturado y la existencia de éstas es crucial para determinar la productividad de cada pozo.

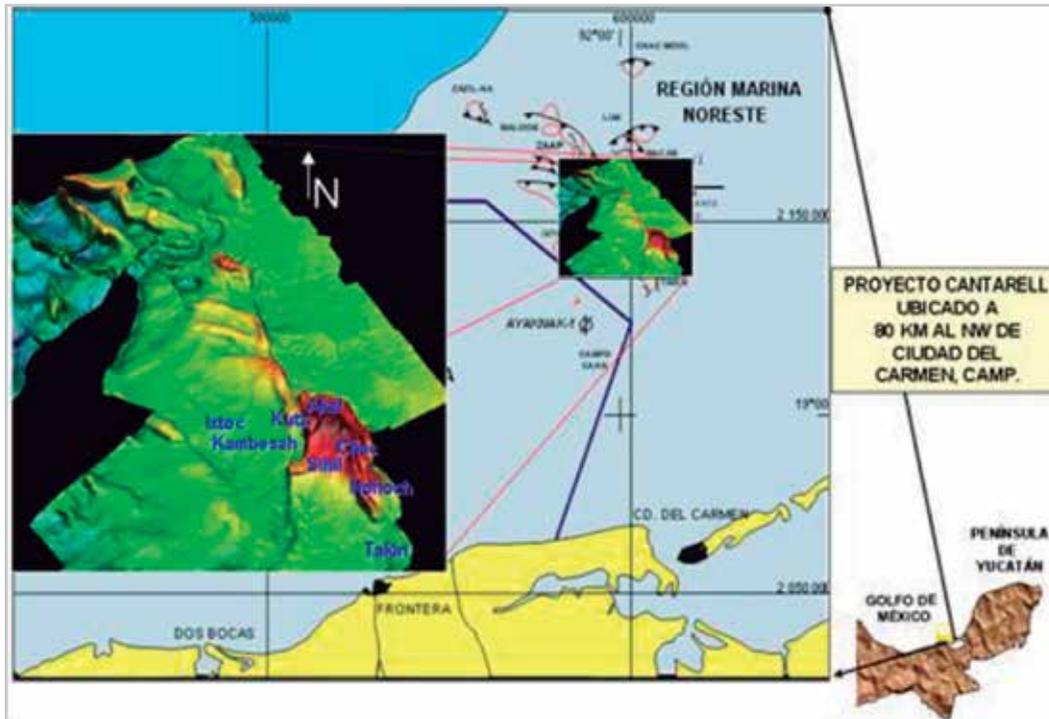


Figura 3. Localización del área en estudio.

Todos estos factores de riesgo hacen imperativa la necesidad de contar con un modelo de alta resolución que permita disminuir la incertidumbre de las nuevas propuestas. El bloque Akal cuenta con alrededor de 570 pozos que se utilizaron para elaborar un modelo estático que refleje la estructura del yacimiento y su configuración interna.

Además se construyó un modelo de fracturamiento a partir de atributos sísmicos y datos de pozo (registros de imágenes y núcleos), que junto con la partición de porosidad basada en los registros geofísicos, fueron los insumos para desarrollar la distribución del segundo medio (vugulos conectados y fracturas).

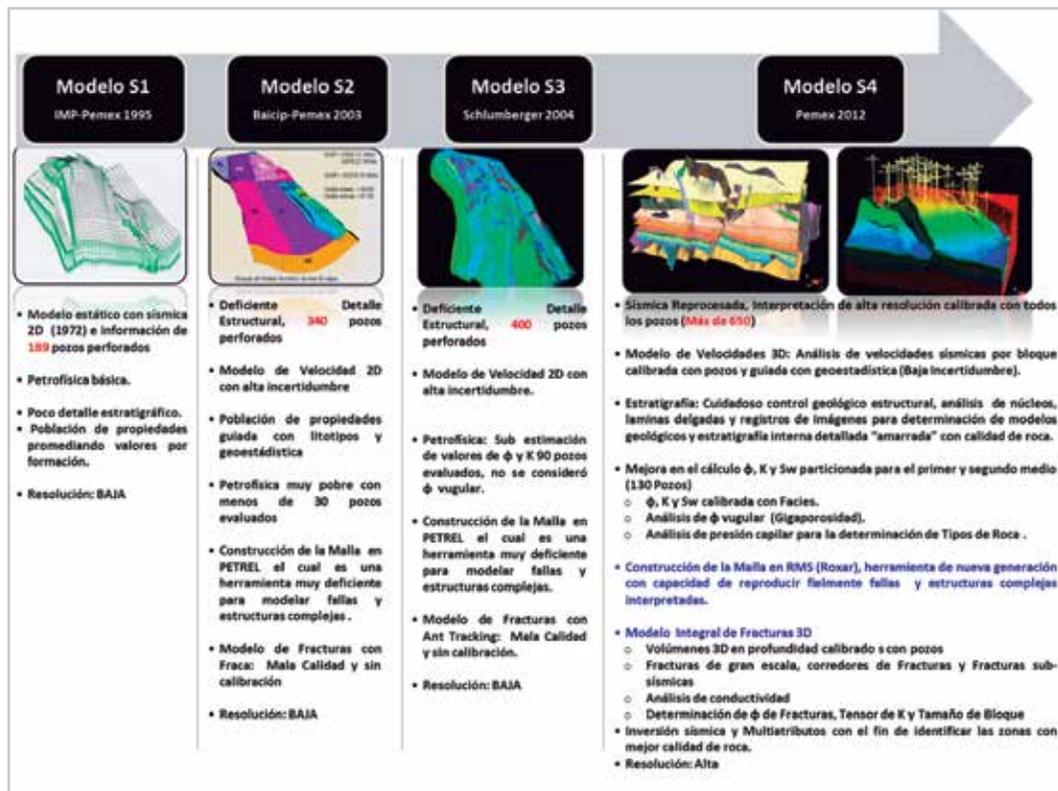


Figura 4. Evolución histórica en los modelos de Akal

## Desarrollo del tema

### Planteamiento

A este modelo estático se le denominó S4, ya que es el cuarto estudio formal de caracterización que se ha hecho sobre el bloque Akal.

El presente trabajo consiste en la caracterización petrofísica de las formaciones del Cretácico-Jurásico, en el cual se desea establecer en base a los datos disponibles de núcleo, registros y pruebas de yacimiento, que modelos de rocas son representativos de dichos yacimientos de la región marina del campo Akal.

Los yacimientos presentes en estas rocas están compuestos en su gran mayoría por carbonatos de gran heterogeneidad, lo cual implica sus interpretaciones desde el punto de vista de las geociencias.

Uno de los objetivos de este estudio consiste en determinar o integrar metodologías existentes que permitan la partición de la porosidad y permeabilidad, detección de zonas de

fracturas, así como definir los modelos de saturación de fluidos y volumen de arcilla, que en conjunto nos permitirán definir el volumen original existente y generar los datos de entrada para los modelos de simulación, requeridos para sustentar los modelos de explotación del campo.

El objetivo principal de este trabajo es proveer a un modelo integral (estático-dinámico) de yacimientos, que permita representar el comportamiento del campo para definir una estrategia de explotación y ayudar al posicionamiento de pozos. Para ello es necesario modelar este bloque en dos sistemas principales de porosidad, un medio de baja capacidad de flujo que se denominó primer medio y un medio de alta capacidad de flujo que se denominó segundo medio.

El primer medio está compuesto por la matriz y por los vugulos que tienen una mala conexión entre ellos, este sistema representa una gran capacidad de almacén pero una reducida capacidad de flujo.

El segundo medio está compuesto por las fracturas y las disoluciones que tienen una buena conexión entre ellas y que esa buena comunicación representa el comportamiento del campo.

## Desarrollo

Esta labor comenzó con la selección de los pozos que contarán con la mayor cantidad de información disponible. Durante ya algún tiempo se ha venido perfeccionando y ajustando una metodología de partición para cada yacimiento de acuerdo a sus características litológicas, porosidad e información dinámica. Básicamente las herramientas utilizadas son los registros de neutrón, densidad y sónico, apoyados con el de rayos gamma y resistividad; al final se calibró con los registros especiales disponibles y validados de los pozos donde se corrió el registro de imágenes, sónico dipolar y resonancia magnética, de esta forma se evaluaron un total de 125 pozos en todo el campo Akal.

Después de los procesos comunes de edición y control de calidad se realizó la evaluación petrofísica considerando una mineralogía compuesta principalmente de dolomía, con variaciones del contenido de calcita y un bajo contenido de arcilla para la mayor parte del Cretácico.

Los coeficientes de partición para el primer y segundo medio se obtuvieron en un rango que iba desde un 22-38% de porosidad de fracturas y el resto de matriz.

Considerando el volumen de aceite que se estima en fracturas de acuerdo al acumulado de producción del campo y al avance de los contactos que se obtuvo de manera

preliminar en el modelo de simulación se determinó que el escenario de 30% de porosidad de fracturas daba el mejor ajuste; este dato concuerda con la descripción geológica que se da a la formación a partir de núcleos y registros de imágenes que constituyen la otra parte que se utiliza para calibrar un estudio de partición de la porosidad.

Se dedicó un especial énfasis en caracterizar las propiedades de la unidad sedimentaria de la entrada del Cretácico Medio, que en el presente modelo se ha denominado ULKM5, que es una unidad caracterizada por valores altos de rayos gamma, incluso después de la corrección por contenido de uranio.

Esta unidad se caracteriza por presentar valores de resistividad muy bajos. Existen tres núcleos en esta unidad dentro del campo Cantarell y en ellos se observa una roca compuesta por estratos muy delgados, incluso laminares de muy baja porosidad y libre de dolomitización, quizás debido a que la baja porosidad impidió la circulación de los fluidos causantes de este tipo de procesos diagenéticos.

En ninguno de los casos se observa impregnación de hidrocarburos y el fracturamiento es bastante escaso. El punto de esta formación es que si se evalúa de manera convencional se obtienen valores de porosidad por arriba del 10%, lo que deja a esta unidad con excelentes propiedades, cuando en realidad es lo contrario.

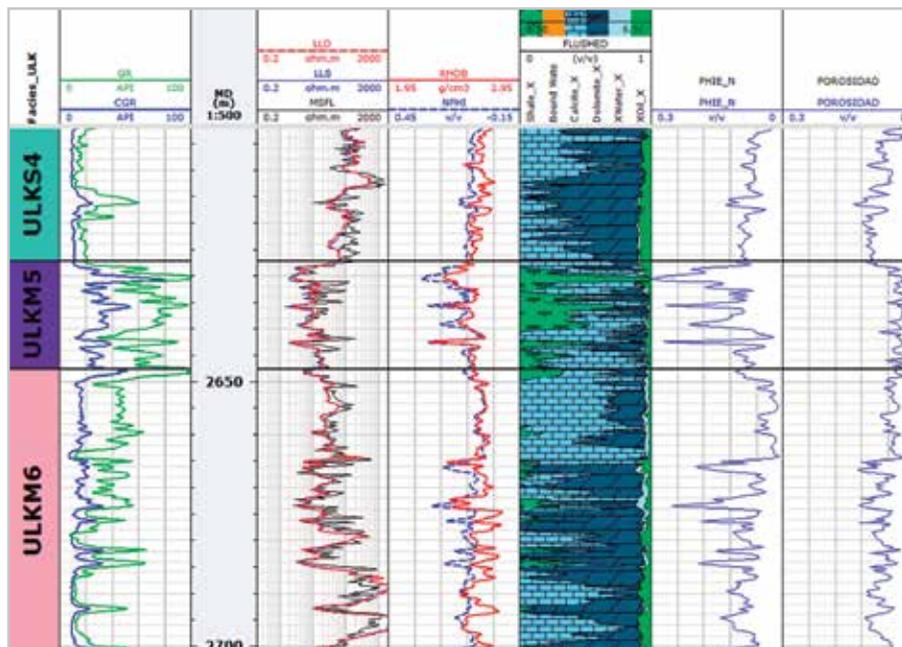


Figura 5. Ejemplo de un pozo que nos muestra lo antes descrito, el penúltimo track nos indica antes de la corrección y el último track después de la corrección.

## Resultados

La aplicación de esta metodología sirvió directamente para los pozos nuevos que atravesaron los yacimientos del Cretácico, durante el 2012 fueron concluidos ocho pozos con objetivo Cretácico y 12 reparaciones que incluyen ventanas y profundizaciones.

Los principales factores a evaluar son la asertividad en las cimas y la calidad de roca del modelo respecto a los reales.

Los gastos de líquido de estos pozos oscilan entre los 2000 y los 5000 BPD con una moda de 2500 BPD. Debido a que se está evaluando la calidad de la roca y su capacidad de flujo se considera el gasto total de líquidos y no sólo el gasto de aceite, ya que los altos porcentajes de agua pueden reflejar fenómenos como conificaciones o cercanía a los contactos.

De igual manera, cuando se tienen gastos muy bajos es importante analizar el comportamiento de la producción de gas para ver cómo influye en el pozo.

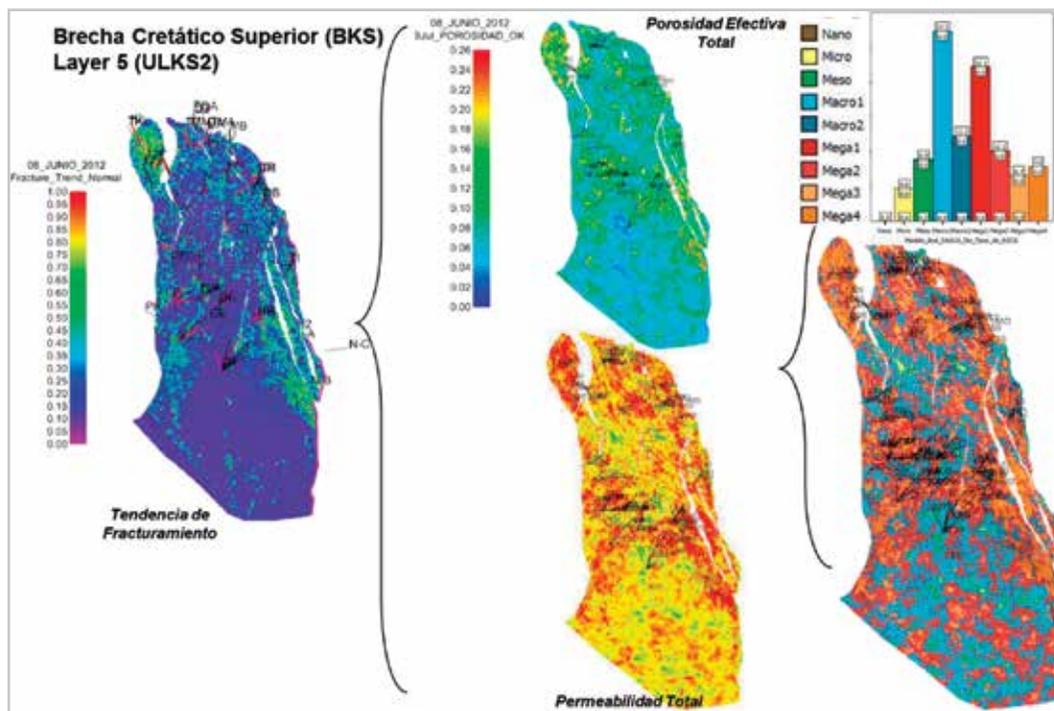


Figura 6. Distribución de propiedades petrofísicas y control de calidad del modelo vs pozos.

Cabe destacar el caso del pozo número tres perforado desde la plataforma Akal-Y, y que inició con una producción de 2000 BPD, 4.5% de agua y una RGA de 1424; su producción cayó de manera que fue necesario repararlo, ya que se determinó que había atravesado una zona de baja permeabilidad, fue necesario abrir una ventana para ubicarlo con el modelo del S4 en un área de mejores propiedades.

Recientemente se comenzaron a implementar en el yacimiento las terminaciones con colas tipo Yates, este tipo de terminación requiere de una roca muy permeable que permita la inmediata restitución de aceite al pozo.

Si la formación no tuviera una buena transmisibilidad y el pozo se produce a altos gastos, se terminará el aceite en las fracturas y el lento aporte de la matriz no permitirá esta restitución y como consecuencias tendremos la formación de un cono de agua o de gas.

Con este nuevo modelo se puede definir la mejor ubicación de los mejores tipos de roca, es decir, las zonas favorables de mayor capacidad de flujo y así tener mejores terminaciones con este tipo de metodología y planear aplicar métodos de doble desplazamiento, EOR, etc.

## Conclusiones

Se utilizó una sísmica reprocesada, y se realizó una interpretación de alta resolución calibrada con más de 600 pozos. Al mismo tiempo se generó un modelo de velocidades 3D, el cual se analizó por bloque y se calibró con pozos y guiada con geoestadística, (baja incertidumbre).

Estratigrafía a detalle, la cual se guió con propiedades petrofísicas, así mismo estas propiedades ( $\emptyset$ , K y SW) fueron particionadas para el primer y segundo medio, a su vez se utilizaron los análisis de presión capilar para calibrar la determinación de los tipos de roca.

Construcción de la malla en RMS, herramienta de nueva generación con capacidad de reproducir fielmente fallas y estructuras complejas interpretadas sin simplificaciones.

Se generó un modelo integral de fracturas 3D calibrado con datos dinámicos, este modelo caracteriza las heterogeneidades de la roca (fracturas), por medio de información sísmica, calibrada con datos estáticos y dinámicos e identificando fracturas a diferentes escalas. Esta herramienta ayuda a entender la comunicación hidráulica, el grado de conectividad del yacimiento.

Con la integración de este estudio se podrá estimar de forma más realista la porosidad y por ende la volumetría de los fluidos contenidos. La utilidad del modelo básicamente está regida por cinco puntos principales:

1. Seguimiento operacional y reducción de riesgos operativos
2. Selección de zonas no drenadas
3. Ubicación de pozos en áreas de mejores propiedades petrofísicas
4. Cálculos volumétricos por bloques y/o unidades
5. Generación de modelo de simulación.

## Nomenclatura

$\emptyset$	Porosidad.
K	Permeabilidad.
Sw	Saturación de agua.
ULK5	Unidad litoestratigráfica Cretácico Superior
ULKM	Unidad litoestratigráfica Cretácico Medio
ULKI	Unidad litoestratigráfica Cretácico Inferior

## Agradecimientos

A mis compañeros del área de Geociencias del Activo de Producción Cantarell, por su valiosa colaboración.

## Referencias

1. Barr, D.C. y Altubay, M. 1993. Using Hydraulic Units to Quantify Depositional and Diagenetic Facies. Proc. ASCOPE Conference & Exhibition, Bangkok, Tailandia, noviembre 2-6.
2. Elkewidy, T.I. y Tiab, D. 1998. Application of Conventional Well Logs to Characterize Naturally Fractured Reservoirs with their Hydraulic (Flow) Units: A Novel Approach. Artículo SPE 40038, presentado en SPE Gas Technology Symposium, Calgary, Alberta, Canadá, marzo 15-18. <http://dx.doi.org/10.2118/40038-MS>.
3. Martin, A.J., Solomon, S.T. y Hartmann, D.J. 1997. Characterization of Petrophysical Flow Units in Carbonate Reservoirs. *AAPG Bulletin* **81** (5): 734-759.
4. Porras, J.C. 1997. Determinación de Petrofacies a Partir del Radio de las Gargantas de Poros y del Volumen Poroso Ocupado por Agua: Su Relación con Litofacies, Campo Carito Norte, Área Norte de Monagas, Cuenca Oriental de Venezuela. VIII Congreso Geológico Venezolano, Porlamar, Isla de Margarita, noviembre 16-19, Vol. 2, 301-308.

## Semblanza de los autores

### Ing. Carlos Ulises Pérez González

Es egresado del Instituto Tecnológico de Cd. Madero, Tamaulipas, de la carrera de Ingeniería Geofísica, cuenta con una especialidad de petrofísica impartida por next de Schlumberger. Ingresó a Pemex en el área de Caracterización y Delimitación de Campos en el Activo de exploración Noreste, donde participó en diferentes modelos estáticos de los campos de Cantarell y Ku-Maloob-Zaap, tanto en el área de sísmica como de petrofísica.

Posteriormente se incorporó al Activo Cantarell, donde participó principalmente en la evaluación de proyectos y documentación de localizaciones exploratorias, así como la definición de intervalos a disparar en pozos de desarrollo. Actualmente es el responsable de la caracterización petrofísica de los modelos geológicos del Activo de Producción Cantarell.

### Ing. José Manuel Morales Ramírez

Es egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México, por la carrera de Ingeniería Geológica y cursó una maestría en Evaluación y Administración de Yacimientos en el Centro de Formación Repsol. Ingresó a Pemex al área de operación geológica donde apoyó con el control y evaluación de registros geofísicos.

Posteriormente se incorporó al Activo Cantarell donde documentó localizaciones exploratorias y participó en varios proyectos de geomecánica, evaluación de prospectos y modelado estático-dinámico de yacimientos. Actualmente brinda apoyo de manera independiente al Activo de Exploración, Región Sur, en la evaluación de pozos exploratorios.