



Desarrollan Expertos Nuevas Metodologías para Facilitar la Explotación de Yacimientos Altamente Heterogéneos con Difusión Lenta

Estas metodologías y herramientas de cómputo tienen aplicación en el análisis de registros geofísicos de pozos, redes de fracturas y facies sedimentarias a escala de núcleos y afloramiento

Para el desarrollo de este tipo de metodologías fue necesario construir modelos matemáticos y de simulación numérica

Doctor Luis Germán Velasquillo Martínez, líder del proyecto.



Un equipo multidisciplinario de expertos del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), del Centro de Investigación en Matemáticas (Cimat) y del Instituto de Geología y del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), desarrollaron para Petróleos Mexicanos (Pemex) nuevas metodologías y herramientas de cómputo de caracterización estática y dinámica para yacimientos heterogéneos de tipo areno-arcilloso (YAA) y carbonatados naturalmente fracturados (YNF) con difusión lenta.

Estas metodologías y herramientas de cómputo tienen aplicación en el análisis de registros geofísicos de pozos, redes de fracturas y facies sedimentarias a escala de núcleos y afloramiento, así como en el diseño e interpretación de pruebas de trazadores y pruebas de presión.

Los resultados obtenidos con estas metodologías pueden aportar información esencial para la toma de decisiones sobre las estrategias de explotación y desarrollo de campos heterogéneos con difusión lenta, aseveró el doctor Luis Germán Velasquillo Martínez, líder del proyecto Nuevas metodologías y



Se cuenta con dos tipos de yacimientos, los arenarcillosos y los naturalmente fracturados, ambos con una misma problemática: son heterogéneos.

herramientas de caracterización estática y dinámica considerando las propiedades fractales de los yacimientos petroleros, con el cual se atendió una solicitud auspiciada por el Fondo Sectorial Conacyt-Sener-Hidrocarburos, entre 2010 y 2014.

Para el desarrollo de las metodologías de caracterización estática –agregó el líder de proyecto del IMP– se realizaron estudios de afloramientos análogos, núcleos de pozos y de barrenos, así como datos de registros geofísicos de pozo e información sísmica de los YAA y YNF.

El doctor Velasquillo Martínez comentó que para el tema de caracterización estática, una de las actividades fundamentales fueron los estudios de afloramientos, cuyos resultados permitieron recabar información que requirió el desarrollo de las metodologías de caracterización estática.

Estas metodologías se aplicaron en las macroperas de los campos Coyotes y Furbero (yacimientos tipo YAA) y en los campos Jujo y Tecominoacán (yacimientos tipo YNF para el intervalo productor Jurásico Superior Kimmeridgiano).

Los afloramientos ubicados en la localidad de Acatepec, Hidalgo, sirvieron como análogos de los YAA; mientras que para el estudio de los YNF se eligió la formación Malpaso, que

aflora en los límites de Veracruz y Chiapas (cercana a la presa Malpaso) y cuyas facies sedimentarias y procesos diagenéticos son análogos al intervalo productor en los campos Jujo y Tecominoacán.

La problemática...

El líder de proyecto del IMP aclaró que los yacimientos altamente heterogéneos con difusión anómala es uno de los problemas que había que atender y que Pemex planteó al Fondo Sectorial Conacyt-Sener-Hidrocarburos. “Un ejemplo de éstos, expuso, es la formación Chicontepec, en donde la alternancia de lutitas y areniscas, y la gran variabilidad de sus espesores (cm a m) hacen compleja su caracterización”.

Indicó que en este tipo de campos se han calculado volúmenes importantes de hidrocarburos, pero al no contar con un modelo geológico conceptual robusto, las estrategias para la explotación se han complicado y en la extracción la difusión es lenta.

Cantarell es un yacimiento naturalmente fracturado, altamente productor, favorecido por la abundancia de fracturas altamente conectadas



Para el desarrollo de las metodologías de caracterización estática se realizaron estudios de afloramientos análogos, núcleos de pozos y de barrenos

Otro problema –continuó– es el manejo y estudio de los yacimientos naturalmente fracturados. En las últimas décadas este tipo de yacimientos se han explotado mucho en nuestro país, el más importante y representativo es el campo Cantarell, ubicado en la Zona Marina Noreste.

Se trata de un yacimiento naturalmente fracturado, altamente productor, favorecido por la abundancia de fracturas altamente conectadas. “Lo anterior permitió sostener velocidades de explotación muy por encima de otros campos, es decir, una difusión muy alta (hiperdifusión)”.

El problema que plantean los YNF de la Región Sur y de la zona Marina Suroeste y Noreste es que pueden presentar difusión lenta debido a las características litológico-estructurales y a la baja conectividad de la red de fracturas. Se cuenta entonces con dos tipos de yacimientos, los areno-arcillosos y los naturalmente

fracturados, ambos con una misma problemática: son heterogéneos.

“La alta heterogeneidad en los YAA se debe a que tienen una estratificación alternada de rocas permeables e impermeables. En los YNF, la alta heterogeneidad es debida principalmente a fracturas que no están homogéneamente distribuidas en el espacio, sino se encuentran distribuidas por regiones presumiblemente con un comportamiento fractal, lo que da lugar a baja conectividad y a procesos anómalos subdifusivos, es decir, de lenta producción”.

Con el presente proyecto –apuntó–, Pemex incursionó en la búsqueda de alternativas de caracterización estática y dinámica de tipo no convencional para yacimientos complejos.

Por lo tanto, el desafío planteado requirió conjuntar un grupo de investigadores y especialistas con perfiles diversos, que se complementaran y conjuntamente pudieran identificar los controles litológicos y estructurales en el comportamiento dinámico de los fluidos, para resolver el problema y a su vez incorporar conceptos alternativos (geometría fractal) en el desarrollo de las metodologías, aseveró el doctor Velasquillo Martínez.

Participa un equipo multidisciplinario de expertos del IMP, del Cimat y del Instituto de Geología y del Centro de Geociencias de la UNAM.





maja
CONSULTING GROUP

SOLUCIONES
PARA UN MUNDO
DE ALTO RIESGO

Estamos comprometidos en reducir, eliminar y mitigar impactos ambientales, pérdidas humanas y pérdidas de producción de la industria de procesos de alto riesgo, con la experiencia y profesionalismo de un equipo de trabajo altamente especializado que responde satisfactoriamente a los estándares de calidad que demande nuestro cliente. Permittiéndonos generar relaciones de negocio a largo plazo, estratégicas y rentables.

ESTUDIOS, INGENIERÍAS Y CONSTRUCCIÓN DE:

- **Análisis y Evaluación de Riesgo (PHA)**
- **Estudios Ambientales Conforme a SEMARNAT**
- **Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS)**
- **Sistemas de Gas y Fuego (F&G)**
- **Sistema de Control Básico del Proceso (CBP)**
- **Diseño y Construcción de Cuartos de Control**
- **Redes Contra Incendio (SCI)**
- **Sistema SCADA**

www.majaconsultinggroup.com





Uno de los problemas que había que atender era el de los yacimientos altamente heterogéneos con difusión anómala.



El proyecto...

El IMP encabezó este proyecto y se hizo una alianza tanto con el Instituto de Geología como con el Centro de Geociencias de la UNAM, campus Juriquilla y con el Cimat de Guanajuato.

“Entre las actividades que llevamos a cabo se realizaron trabajos de afloramiento (rocas expuestas con características muy similares a las rocas del yacimiento). Para ello se adquirieron tres equipos de vanguardia: un espectrómetro portátil de rayos gama, con el que se obtuvieron perfiles de radiactividad natural de las rocas, los cuales sirvieron como comparación de las respuestas de las rocas de afloramiento con las del pozo. También se adquirió un escáner láser y una cámara hiperespectral”.

El escáner láser, expresó, permite realizar mapeos tridimensionales de los afloramientos y de esta manera contabilizar espesores de las rocas, fracturas y otros datos con mayor precisión y en gran volumen. “Al final del proyecto los equipos nos permitieron obtener una gran cantidad de datos, que dio mayor robustez estadística a las conceptualizaciones de los modelos propuestos”, comentó el especialista del IMP.

“Asimismo, creamos diversas herramientas de cómputo que incluyen métodos fractales, tanto para el análisis e interpretación de registros geofísicos de pozo como para el

análisis de fracturas. “Lo que se observa en la geometría fractal es que el comportamiento de la roca es el mismo, independientemente de la escala de observación, lo cual es una herramienta de caracterización muy poderosa cuando se quieren inferir patrones a una escala, cuando se observa otra; lo que es muy común en las interpretaciones geológicas de yacimientos”, puntualizó.

Pruebas de trazadores y de presión

El doctor Velasquillo Martínez explicó que en la parte de caracterización dinámica se abordó lo relacionado con las pruebas de trazadores y pruebas de presión.

Una prueba de trazadores entre-pozos convencional consiste en la inyección de un pulso de trazador en un pozo inyector y el monitoreo de su arribo en los pozos productores vecinos. De los datos de arribo de trazador se obtiene información del movimiento del fluido en el yacimiento, los canales principales de flujo y algunas características del medio poroso que compone el yacimiento.

Por lo anterior, las pruebas de trazadores permiten estimar las posibles propiedades fractales del medio, ajustando los datos de campo de surgencia de trazador a las predicciones de modelos fractales de transporte, con lo que se determinaría si el transporte es subdifusivo (lento), normal o superdifusivo (alto). “Así entonces, agregó, se tendrían elementos técnicos para evaluar la conveniencia económica de perforar más pozos productores o emplear uno u otro proceso de extracción”.

El líder de proyecto en el IMP expuso que para el desarrollo de este tipo de metodologías fue necesario primeramente construir modelos matemáticos y de simulación numérica que describen el flujo de fluidos y el transporte de trazador en medios porosos fractales, que no existían previamente.

Respecto a las pruebas de presión, comentó que éstas proporcionan información del patrón de flujo en la vecindad de los pozos, la conectividad del sistema y en particular sobre la porosidad y permeabilidad del yacimiento. Para ello se analiza la respuesta de la presión del pozo a cambios, por ejemplo, en el gasto de producción.

Estas metodologías se aplicaron en las macroperas de los campos Coyotes y Furbero y en los campos Jujo y Tecominoacán

“Cuando se observan determinados patrones en esta respuesta puede ser indicativa de la presencia de estructura fractal. Nosotros desarrollamos una herramienta de cómputo que automatiza este análisis, la cual se aplicó a datos de pruebas de presión de varios pozos de Jujo-Tecominoacán y se encontró el comportamiento fractal en algunos de ellos”.

Un diagnóstico de fractalidad significa que las fracturas se distribuyen por zonas con baja o nula conectividad entre ellas; entonces no se recomendaría explotar ese yacimiento con los métodos actualmente disponibles, porque se tendrían problemas de alta heterogeneidad y por ello de baja productividad.

“Esta toma de decisiones permite ahorrar tiempo y dinero, porque si se planea invertir y diseñar la explotación de hidrocarburos es

necesario conocer la distribución y las propiedades de las fracturas”, señaló.

Finalmente, comentó que en el marco de este proyecto se solicitaron seis títulos de registros de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) para el software desarrollado; más de cien registros ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor (Indautor), correspondientes a cada uno de los módulos de las diferentes aplicaciones de software desarrolladas.

Asimismo, se realizaron ocho tesis, tres de doctorado, cuatro de maestría y una de licenciatura, así como nueve estancias posdoctorales y estancias de varios estudiantes no graduados en servicio social, prácticas profesionales, y del programa Verano de Investigación Científica.

Investigadores y especialistas que participaron en el proyecto

Geología (IMP)

Dr. Armando Altamira Areyán (responsable de grupo)
 Ing. Daniel E. Bolaños Rodríguez
 M. en C. Pedro A. López Zúñiga
 Ing. Marlen Salgado Serafín
 Ing. Adriana Acosta Ángeles
 M. en C. Elizabeth Guzmán Hidalgo
 M. en C. Manuel Cruz Castillo
 M. en C. Elizabeth Lara Corona
 Ing. Daniel Negrete Carreón
 Ing. Judith Callejas Moreno
 Ing. Priscila Vargas Castro
 Dr. José M. Grajales Nishimura

Geofísica

Dr. Luis G. Velasquillo Martínez (responsable de grupo y jefe de proyecto)
 M. en I. Claudia Ramírez Ortega
 Ing. Honorio Ramírez Jiménez
 M. en I. Miguel A. Alarcón Martínez

Geoestadística

Dr. Ricardo Casar González (responsable de grupo)
 Dr. Martín A. Díaz Viera
 Ing. Francisco Mendoza Torres
 M. en C. Javier Méndez Venegas
 Dr. Víctor M. Hernández Maldonado
 Ing. Paola Checa Rojas

Centro de Geociencias (UNAM)

Dra. Susana A. Alaniz Álvarez
 Dr. Shunshan Xu
 M. en C. Paola A. Botero Santa

Instituto de Geología (UNAM)

Dr. Gustavo Tolson Jones
 M. en C. Alberto Vázquez Serrano

Pruebas de trazadores y desarrollo de aplicaciones de cómputo (IMP)

Dr. Manuel Coronado Gallardo (responsable de grupo)

Dr. Erik C. Herrera Hernández
 Dr. Héctor Hernández Coronado
 Dr. Jorge A. Perera Burgos
 M. en C. Jennifer Pérez Oregón
 M. en C. Jessica T. Rojas Cuevas
 M. en C. Eymard Hernández López
 Fis. Mat. Christopher Jonatan Roque

Cimat

Dr. Francisco J. Solís Lozano
 Dra. Silvia Jerez Galiano
 Dr. Raúl Felipe Parada

Pruebas de presión, desarrollo de aplicaciones de cómputo y bases de datos (IMP)

Dr. Jorge X. Velasco Hernández (responsable de grupo)
 Dr. Manuel Romero Salcedo
 Dr. Edscott Wilson García
 Fis. Mat. Carlos A. Fernández Yáñez
 Fis. Mat. Yarith N. Domínguez del Ángel
 Dr. Damián Hernández Herrán
 Dra. Mayra Núñez López
 Dra. Elizabeth Santiago del Ángel
 Dr. Eliseo Hernández Martínez
 Dra. Cristi Darley Guevara
 M. en C. Manuel Tejada Wriedt
 M. en C. Hilario Flores Mejía
 M. en C. Teresa López Muñoz
 M. en C. Jesús Chaidez Félix
 Moisés Trejo Durán
 Mat. Fanny Galicia Gómez
 Mat. Ali Hernández Salazar
 Lic. Alejandro Hernández Vázquez

Base de datos

Dr. Leonid Sheremetov
 M. en C. Alfredo Raymundo Méndez
 M. en C. María del Pilar Vidriales

Programación de códigos

Dr. Igor Bulgakov
 Dr. Arturo González Sánchez