

USOS-01

## DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS DE FRACTURAS EN DATOS SÍSMICOS DE REFLEXIÓN

Jaime Ramos, Raúl Cabrera, Carlos Calderón y Alfonso González  
Sismología Multicomponente, YNF, Instituto Mexicano del Petróleo

La caracterización de fracturas en yacimientos de hidrocarburos es un tema de creciente interés en la industria petrolera debido a su alto impacto económico. La determinación de la distribución, dirección, intensidad, y contenido de las fracturas en un yacimiento es de gran importancia en la optimización de la producción en campos existentes. En los años recientes, se han aplicado exitosamente metodologías para la caracterización de fracturas que utilizan el análisis de datos sísmicos de reflexión. En estas metodologías, para modelar la respuesta sísmica de un medio fracturado, los efectos sísmicos producidos por las fracturas que se suponen pequeñas comparadas con la longitudes de onda sísmicas, y con un alineamiento preferencial, son simulados por un medio homogéneo equivalente que produce el mismo comportamiento. Utilizando teorías de medios efectivos como la que supone fracturas en forma de moneda, estos efectos en la respuesta sísmica se observan en los tiempos de viaje y amplitudes de los modos de propagación elástica medidos en datos sísmicos multicomponente de reflexión: ondas P, ondas S directas y ondas convertidas. En el caso de las ondas S, el efecto es más evidente pues ocurre la separación de las ondas de corte en dos modos, uno viajando con una velocidad más rápida que el otro. Es así que a partir del análisis de estas marcas en la respuesta sísmica se pueden inferir parámetros de las fracturas como la orientación y la intensidad del fracturamiento. Sin embargo estas fallan si el parámetro que se requiere conocer es el contenido de fluido de las fracturas, ya que no son sensibles a este parámetro. En este trabajo, se estudia la respuesta sísmica de medios con distintas configuraciones de fracturamiento. Se discuten las principales ventajas y limitaciones de las diferentes teorías de medios efectivos, haciendo énfasis en los parámetros de fracturas que se pueden inferir a partir de datos sísmicos de reflexión.

USOS-02

## ANÁLISIS AZIMUTAL DE AMPLITUDES EN MEDIOS FRACTURADOS A PARTIR DE DATOS SÍSMICOS DE REFLEXIÓN

Carlos Calderón, Jaime Ramos, Raúl Cabrera y Alfonso González  
Sismología Multicomponente, YNF, Instituto Mexicano del Petróleo

En México, los yacimientos naturalmente fracturados son de gran interés económico en la producción de hidrocarburos. Una herramienta tecnológica importante para la detección y descripción de yacimientos fracturados es la sismología de reflexión. Por ejemplo, la amplitud de una onda P plana reflejada en una interfaz horizontal simple entre dos medios homogéneos e isótropos difiere si la misma onda incidente es reflejada de la misma interfaz pero uno de los dos medios presenta un comportamiento anisótropo. Tal es el caso de un medio homogéneo con fracturas verticales alineadas en una sola dirección el cual se representa como un medio efectivo

isótropo con un eje de simetría horizontal también conocido como medio ITH. En ambos casos, la amplitud de la onda reflejada depende del contraste de impedancia elástico entre los medios y del ángulo de incidencia de la onda P. Pero para el caso en que uno de los medios, o los dos, se encuentre fracturado, la amplitud también depende del ángulo entre el plano vertical de propagación de la onda P y la dirección de fracturamiento y de la intensidad del fracturamiento. El análisis azimutal de amplitud de la onda P en este caso, permite cuantificar estos parámetros si los datos sísmicos se registran en líneas fuente-receptor con una geometría azimutal.

Igualmente, las ondas S responden al propagarse en medios fracturados con una separación en dos componentes, una rápida y la otra lenta con polarizaciones paralela y perpendicular, respectivamente, a la dirección del fracturamiento. El retraso entre estas dos componentes y su polarización también dependen de la densidad o intensidad de las fracturas, y del ángulo entre la dirección de propagación y la dirección del fracturamiento. Este análisis es complementario al análisis de amplitudes anteriormente descrito que también se puede realizar a partir de ondas convertidas P-S, que es una onda incidente P y reflejada S.

Un primer paso en el estudio de identificación y descripción de medios fracturados es entender la propagación de ondas elásticas en medios con sistemas de fracturas simples, como medios ITH, y derivar técnicas de análisis para estimar los parámetros de dirección e intensidad de fracturamiento. En este trabajo, se estudia la reflexión de ondas elásticas en medios ITH, y se describe su aplicación práctica a datos reales.

USOS-03

## ATRIBUTOS ESPECTRALES PARA EL ANÁLISIS DE ATENUACIÓN EN UN YACIMIENTO FRACTURADO

Luis Cuauhtémoc Ramírez Cruz  
Instituto Mexicano del Petróleo  
Instituto de Geofísica

Es bien conocido que las ondas sísmicas al propagarse a través de rocas saturadas con un fluido son más atenuadas que las ondas que pasan a través de rocas secas. Así mismo este comportamiento se presenta cuando la energía se propaga en un medio fracturado. Cambios en las características espectrales de la señal sísmica pueden estar asociadas a estos medios y constituyen una herramienta para caracterizar este comportamiento.

En este trabajo se presentan resultados preliminares de obtener una serie de atributos sísmicos espectrales para analizar un yacimiento fracturado. Entre los atributos obtenidos, se tienen la extracción de información de atenuación, contenido espectral y otros factores instantáneos. La importancia de estos atributos se basa en los cambios espectrales de los datos sísmicos que están relacionados con la presencia de fluidos (hidrocarburos). Por lo que el propósito de estos atributos es identificar los patrones espectrales asociados a zonas productoras, y usar este conocimiento para decidir la perforación de nuevos pozos en el área.

Los atributos espectrales son calculados en una ventana de la sección sísmica, arriba y abajo de la zona de estudio (posible yacimiento). Varias características espectrales pueden ser calculadas como son: frecuencia límite, frecuencia pico, cepstrum espectral, componentes principales del espectro, y factor de calidad. Una vez calculados los atributos espectrales, se puede obtener el espectro de

atenuación a través de la diferencia espectral. Las anomalías de atenuación encontradas pueden ser asociadas a la presencia de fluidos, fracturamiento o ambos.

El área de estudio corresponde a yacimientos de aceite en rocas fracturadas carbonatadas del cretácico. La finalidad de este trabajo fue definir las zonas de interés (alta densidad de fracturamiento y presencia de hidrocarburos) para delimitar el yacimiento y validar las localizaciones propuestas para arrancar un programa de reintervención de pozos con perforación horizontal.

USOS-04

### **BÚSQUEDA DE RELACIONES NO LINEALES ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ROCAS Y ATRIBUTOS SÍSMICOS**

Alfonso González Ibarra<sup>1</sup> y Alvaro de Albornoz Bueno<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IMP

<sup>2</sup> ITESM Campus Cd. de México

Uno de los temas de investigación en sismología aplicada es entender las relaciones que existen entre los propiedades físicas de las rocas y los atributos sísmicos. Estas relaciones han sido estudiadas con diversas herramientas, desde las que contemplan la existencia de relaciones lineales entre variables, tales como el ajuste tradicional de mínimos cuadrados o la regresión lineal múltiple. También se han usado las redes neuronales que es una herramienta tomada del campo de la Inteligencia Artificial, que permite la existencia de relaciones no lineales entre variables.

En esta ponencia se presenta la aplicación de otra herramienta del campo de la Inteligencia Artificial denominada Análisis de Reconstrucción (AR). El AR es capaz de realizar la identificación de subsistemas y hacer selección de variables de acuerdo al grado de correlación que existe entre ellas, mediante la aplicación de un mecanismo de razonamiento inductivo difuso.

El AR forma parte de una metodología desarrollada para el análisis de sistemas complejos para los cuales es difícil hacer una descripción cuantitativa satisfactoria. Esta metodología se denomina Razonamiento Cualitativo. La aplicación del AR al problema de relaciones las propiedades físicas de las rocas a los atributos sísmicos se justifica dado que las relaciones entre estas variables son en general complejas (no lineales). Sin embargo antes de poder aplicar el AR será necesario plantear el problema que se va a resolver en términos de la metodología que se usará. Esto implica tener que plantear el problema en función de un sistema con sus entradas y salidas.

USOS-05

### **DIFRACCIÓN DE ONDAS P Y S POR UNA INCLUSIÓN ESFÉRICA: UNA REVISIÓN DE LA SOLUCIÓN CANÓNICA**

R. Ávila<sup>1</sup> y F.J. Sánchez-Sesma<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Mexicano del Petróleo

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería, UNAM

Se presenta un análisis de la difracción de ondas longitudinales y transversales por una inclusión esférica usando la solución canónica. Nuestro objetivo es revisar y estudiar la ya bien conocida teoría de la difracción resonante propuesta por Gaunard y Uberall a principios de los 80's. Esta teoría describe la propagación de una

onda elástica incidente sobre una inclusión esférica llena de fluido. La esfera se encuentra en un espacio elástico, homogéneo e infinito. La solución está basada en la superposición de amplitudes de los campos difractados producidos por la geometría y la presencia del fluido. Al analizar estas amplitudes por medio de coeficientes parciales de una expansión analítica, se puede observar que están constituidas básicamente por dos contribuciones que interfieren. La primera es una suave respuesta de fondo que corresponde a la difracción producida por una esfera vacía, y la segunda es la aparición periódica de un grupo de "picos espectrales" (líneas de banda estrecha) debidas a la presencia del fluido. En este trabajo se estudia como esos modos resonantes y sus anchos de banda solamente han sido calculados para el caso de incidencia P y que la solución con ondas incidentes SV y SH ha quedado sin resolver. A partir de nuestros resultados creemos que el uso de esta teoría como un patrón de identificación del contenido de fluido no se encuentra restringida al uso de ondas P. Los cálculos aquí presentados se tratan analíticamente. Se da un catálogo completo de funciones radiales en términos de funciones de Bessel y de Hankel esféricas para las expansiones de los campos incidente y difractado, respectivamente. En estos resultados se han corregido los errores tipográficos que aparecen en la literatura. Se consideran los casos en los cuales la esfera es (1) una cavidad, (2) una inclusión elástica o (3) una inclusión fluida. Se muestran espectros y sismogramas sintéticos para los tres componentes del movimiento y patrones de la amplitud de los desplazamientos difractados en función de la frecuencia y del espacio.

USOS-06

### **ELASTIC NETWORK MODEL FOR ROCK PHYSICS SIMULATIONS**

Raúl del Valle-García

Instituto Mexicano del Petróleo

The construction of elastic networks models with microscopic heterogeneities enables simulating static and dynamic phenomena of a rock with different ensembles of pores, cracks and multiphase inclusions (clay, water, oil). The model considered is the triangular lattice Born Hamiltonian system with central and bond-bending forces, which represent a discretised version of the continuous dynamical displacement field used in statistical physics studies for such problems related to percolation and fractal theory. This model has several advantages over the continuum approximations (e.g. the elastic wave equation); namely, it provides an easy framework for the internal boundary conditions of the voids (pores and cracks) within the model. This is achieved by calculating the equations of motion (and consequently, the elastic energy) of the system using a molecular dynamics algorithm. Examples form wave propagation phenomena are shown by exciting the model by a pulse source or by simulating dynamic fracture propagation. The examples include: 1) Acoustic emission from hydro-fracturing, 2) the velocity-porosity relationship from zero to the "critical porosity" for dry rocks, and 3) wave attenuation due to multiple scattering. The results are compared with those obtained from laboratory experiments and effective media theories with different applied stress regimes, including stress induced anisotropy.

USOS-07

**UNION DE CUBOS SISMICOS OBC POST-  
APILADOS DEL ACTIVO LITORAL DE LA REGION  
MARINA SUROESTE PEP**

Jorge Díaz de León Chagolla  
Centro Nacional de Procesado, PEP

En la búsqueda de nuevas regiones de Exploración en las costas del Golfo de México principalmente cerca de las zonas de transición, para poder correlacionar los datos sísmicos terrestres con los marinos, nace la necesidad de estar al día con la tecnológica para poder resolver, de la manera más eficiente, problemas geológicos-geofísicos. El proyecto Pemtech-Cosaco 3D OBC, está localizado frente a las costas del estado de Tabasco en aguas con profundidades de 5 a 25 metros, el levantamiento se efectuó a lo largo de aproximadamente 60 km lineales de la costa desde el Puerto de Dos Bocas al oeste hasta el Puerto de Frontera al este. El estudio fue diseñado con la modalidad de SWATH siguiendo el contorno de la costa y está dividido en tres bloques. Se procesaron los tres bloques de manera independiente tratando de conciliar los mismo parámetros de procesamiento para los tres bloques hasta la etapa de apilado. Por requerimientos de Activo Litoral se hizo la petición de obtener dos bloques principales, uniendo el Bloque Oeste con el Bloque Centro y uniendo el Bloque Centro con el Bloque Este, ambos bloques unidos en apilado y migrados con sus respectivas velocidades ya unidas con anterioridad.