

VISUALIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS USANDO UN CUBO DE DATOS SÍSMICOS

Por Dennis B. Net

Geofísico (jubilado) de Phillips Petroleum

Traducción de María Ángela Capello



Society of Exploration Geophysicists

Noviembre 2005

INTRODUCCIÓN

Las montañas, ríos, valles, colinas y líneas de costa que vemos mientras viajamos en un vehículo o por avión también se encuentran presentes a miles de metros de profundidad, en el subsuelo.

Para obtener imágenes y realizar mapas de estas estructuras y morfologías que están en el subsuelo, los geocientíficos usan una tecnología denominada **sísmica de reflexión**. En esta técnica, se generan ondas sísmicas y se graban utilizando un patrón conocido, generalmente una retícula o mallado desde la superficie. Las ondas que se generan en la superficie rebotan, es decir se reflejan desde cada interfase existente entre tipos de rocas distintos, y regresan a la superficie de la tierra (Fig. 1). Miles de instrumentos sumamente sensibles llamados **geófonos** tienen la capacidad de percibir estos reflejos o rebotes de las ondas, traduciéndolos en señales eléctricas que envían a computadores que almacenan la información.

Los datos grabados se denominan datos sísmicos o grabaciones sísmicas de campo. Estas grabaciones se hacen en el terreno usando cargas explosivas o camiones vibradores para crear ondas. En los ambientes marinos, como los océanos y lagos, se utilizan cañones de aire comprimido para generar pulsos de presión que también se reflejan hacia sensores sensibles a la presión, llamados **hidrófonos**.

El volumen de datos sísmicos grabados es muy grande, e involucra miles de millones de datos numéricos. La compilación de dichos datos en formatos útiles al análisis del subsuelo requiere de la utilización de los computadores de mayor capacidad y rapidez que estén disponibles en el mercado. El análisis realizado de estos datos es lo que se llama **procesamiento de datos sísmicos** y requiere varias semanas y a veces meses de complejos cálculos matemáticos que permiten obtener una imagen tridimensional del subsuelo. La figura 2 ejemplifica un cubo sísmico 3D (tridimensional) de 2 x 3 x 1,5 km.

El proceso mediante el cual se usan los datos sísmicos 3D para identificar y realizar mapas de las estructuras y características geológicas se denomina **interpretación sísmica**. Los datos sísmicos muestran bandas claras y oscuras contrastantes, que representan el tiempo de viaje y la posición espacial de las interfases rocosas entre formaciones geológicas a varios miles de metros en el subsuelo. Se requiere de geocientíficos altamente especializados para predecir la profundidad, la forma y el tipo de rocas que causaron el evento de reflexión. Los geofísicos y geólogos realizan estas actividades, combinando información de los datos sísmicos procesados mediante las computadoras con los datos obtenidos de los pozos petroleros que han penetrado esas capas del subsuelo. Los datos de registros de pozo se combinan con los datos sísmicos para determinar si hay presencia de hidrocarburos, y si es así, cuán grande es la acumulación.

La imagen sísmica de yacimientos petrolíferos es un aspecto esencial de los estudios de exploración y producción petrolera. Cuantiosas cifras del orden de miles de millones de dólares (USA) se invierten en la adquisición, procesamiento e interpretación de datos sísmicos. Los geofísicos, geólogos, ingenieros de computación, matemáticos e ingenieros electricistas están involucrados en el desarrollo de tecnologías para la sísmica de reflexión.

La interpretación de cubos de datos sísmicos requiere un conocimiento apropiado de las formas y procesos geológicos. También, requiere de la habilidad para percibir y visualizar en tres dimensiones las formas geológicas tal como están enterradas en el subsuelo.

El ejercicio que se presenta le permitirá visualizar algunas características geológicas básicas usando datos sísmicos. Usted construirá un cubo sísmico tridimensional y revisará la información disponible para predecir la forma de las estructuras geológicas que están presentes en dicho cubo.

Varias características se encuentran presentes en los datos, que incluyen fallas, anticlinales y sinclinales. Como se ilustra en las figuras 3 y 4, los anticlinales y fallas pueden entrapar petróleo y gas natural. Los hidrocarburos son más livianos que el agua, y por lo tanto tienden a subir a la superficie (recuerde cómo las gotas de aceite común flotan sobre el agua). Una estructura anticlinal de tipo *roll-over* (figura 3) o una falla (figura 4) pueden detener el flujo natural hacia arriba de los hidrocarburos si una roca impermeable tal como una lutita se encontrara yuxtapuesta a una arenisca porosa. Los geocientíficos usarán los datos sísmicos para identificar aquellas áreas donde rocas porosas conocidas forman anticlinales o están falladas.

La diferencia entre un sinclinal y un anticlinal se muestra en la figura 5. Las capas que forman el pliegue muy frecuentemente tienen una tercera dimensión de buzamiento estructural que es perpendicular al eje del anticlinal o sinclinal. La figura 6 esquematiza cómo el eje de un anticlinal puede también estar buzando hacia abajo en el subsuelo. Un anticlinal buzando hacia el Norte tiene su eje profundizándose hacia la dirección Norte.

Los términos **rumbo** y **buzamiento** se utilizan para describir la orientación espacial de los estratos rocosos y de los planos de falla. La figura 7 ilustra cómo el buzamiento se refiere a la dirección en la que una gota de agua se deslizaría si se colocara en el tope, en la zona más alta del estrato. El buzamiento se cuantifica por el número de grados y su dirección (esto es, 10°N, 3°S, etc.). El rumbo es la dirección perpendicular al buzamiento y representaría una línea de igual profundidad para ese estrato. Por lo tanto, el rumbo sólo tiene especificada su dirección (por ejemplo Sureste-Noroeste, Norte-Sur, etc.)

Las **fallas** se encuentran también presentes por lo general en los estratos plegados. Siempre que las rocas no pueden plegarse, se rompen y entonces comienzan a deslizarse entre ellas mismas. La figura 8 muestra una falla normal, que son las fallas con deslizamientos a favor de la gravedad, que pueden desplazar los estratos en varios cientos de metros.

El **salto** es la cantidad de desplazamiento a lo largo de una falla entre dos estratos particulares afectados por el movimiento. En la figura 8, la porción izquierda de la falla normal sería el **lado deprimido** y la porción derecha el **lado levantado**. En la figura 9, el salto de la falla se revierte, formando una falla inversa. Aquí, el lado izquierdo está levantado en comparación con la porción derecha, más baja o enterrada. Cuando las fallas se presentan concurrentemente, es posible la formación de estructuras denominadas *horsts* y *grabens* (figura 10). El horst y graben de la figura 10 está limitado por fallas normales.

Las estructuras geológicas como grabens, fallas normales, capas buzantes, anticlinales y sinclinales se visualizan con facilidad en los datos sísmicos 3D como se ilustrará en el siguiente ejercicio.

EJERCICIO

Cubo de datos sísmicos 3D

Objetivos: Construir un cubo de datos sísmicos tridimensionales e interpretar las características geológicas que en él se encuentran.

Materiales:

- 8 secciones sísmicas
- 3 lápices de colores (creyones) rojo, verde, azul
- Cinta pegante (teipe) transparente
- Tijeras

Procedimiento:

1. Organizar los datos sísmicos en el siguiente orden: Línea 1, Línea 2, Línea 3, Traza 4, Traza 5, Traza 6, sección horizontal de base (bottom horizontal slice) y sección horizontal del tope (top horizontal slice). Usted realizará la interpretación sobre estas secciones individualmente antes de ensamblar el cubo sísmico
2. Sobre la Línea 1, observe la forma de la falla F3. La ubicación de las otras dos fallas ha sido marcadas con las leyendas F1 y F2. Termine de marcar la posición de estas dos fallas, de tope a base. No tema extender las trazas de las fallas tan lejos como pueda. Use el color azul para la F1 y el color rojo para la F2. Estas tendencias de falla deberían ser suaves. Asegúrese de interpretar las fallas en ambas caras de la Línea 1.
3. Repita la interpretación de F1 y F2 en las líneas 2 y 3. Use un color azul para F1 y rojo para F2 en ambas caras de dichas líneas.
4. Interprete la falla F1 sobre la Traza 6. Note que la Línea 1 y la Traza 6 se intersectan en el punto **d**. Posicione la Línea 1 contra la Traza 6 y verifique la posición de F1 en la intersección. Si F1 no coincidiera, ajuste su interpretación en una o ambas secciones.
5. Sobre la Traza 4, interprete la ubicación de un plano de sedimentación (horizonte) H1 sombreándolo con un trazo verde por debajo de la banda de color oscuro que está justo encima de la leyenda H1. Lleve esta interpretación de borde a borde de la sección sísmica, y repita en la cara opuesta de la Traza 4.
6. Repita la interpretación de H1 sobre las secciones denominadas líneas y trazas que quedan por interpretar. Sobre la Traza 6 y Líneas 1 a la 3, será necesario interrumpir el seguimiento del reflector H1 por la presencia de las fallas F1 y F2. El color verde debería detenerse en el lado levantado de cada falla, para continuar en el lado deprimido, en la intersección con la falla. Note que cada falla tiene un salto distinto.

7. Comience a ensamblar su cubo.

- a. Coloque la Línea 1 adyacente a la Traza 4, de manera tal que la letra a sea visible en ambas secciones. Los horizontes deberían alinearse en la intersección marcada con a. Si no es así, deslice ligeramente una sección hacia arriba o hacia abajo hasta conseguir el empalme. Pegue a lo largo de esta unión en 3 lugares con pequeños pedazos de cinta plástica (teipe) de unos 3 a 4 cm. Péguelas de tal manera que las letras a queden en la parte interior del cubo.
- b. Coloque la Traza 6 cerca de la Línea 1, de tal manera que quede visible la letra d. Alinee los horizontes de manera similar al procedimiento anterior y péguelas con cinta plástica (teipe) como se hizo antes.
- c. Coloque la Línea 3 cerca de la Traza 6, de tal manera que quede visible la letra c en ambas. Alinee los horizontes y pegue.

Con el cubo realineado sobre la sección horizontal del fondo, responda las siguientes preguntas:

1. ____ Dado el “buzamiento aparente” de la falla F1 sobre la Línea 1 y sobre la Traza 6, ¿cuál de las siguientes opciones describe mejor la dirección de F1 en la esquina Suroeste (SW) al tope del cubo?
 - A. NO, Noroeste
 - B. NE Noreste
 - C. SO, Suroeste
 - D. SE Sureste
2. ____ ¿Cuál es la dirección del buzamiento del horizonte H1 en la letra P de la Línea 1?
 - A. ENE
 - B. S
 - C. NO
 - D. E
3. ¿En cuál esquina del cubo se encuentra más somero el horizonte H1?
 - A. NE
 - B. SE
 - C. SW
 - D. NW
4. Sobre la Línea 1, ¿qué describe mejor los reflectores entre F1 y F2?
 - A. Anticlinal
 - B. Sinclinal
 - C. Horst
 - D. Bloque fallado rotado

5. Entre F2 y F3 sobre las líneas 1, 2, 3 y en la Traza 5, el horizonte H1 es más somero hacia el
- A. Norte
 - B. Sur
 - C. Este
 - D. Oeste
6. Sobre las líneas 1, 2, y 3 ¿qué frase describe mejor la característica observable entre F2 y F3?
- A. Horst
 - B. Sinclinal buzando hacia el Norte
 - C. Anticlinal buzando hacia el Este
 - D. Anticlinal Buzando hacia el Norte
7. Usando la sección horizontal en la base (horizon slice), ¿cuál de las siguientes aseveraciones es válida?
- A. F3 se extiende desde la Línea 1 a la Línea 3
 - B. F2 tiene dirección Este-Oeste
 - C. F1 es muy lineal y recta
 - D. F2 y F3 convergen cerca de la Línea 1
8. Usando las líneas 1, 2, y 3, ¿cuál aseveración es cierta?
- A. F3 tiene más salto de falla que F2
 - B. F1 tiene su lado deprimido hacia el Este
 - C. F3 tiene su lado deprimido hacia el Este
 - D. F1 tiene más salto que F2
9. Sobre la sección horizontal del horizonte en la base en la letra **Q**, los reflectores arqueados reflejan un:
- A. Anticlinal que buza hacia el Norte
 - B. Sinclinal que buza hacia el Norte
 - C. Anticlinal que buza hacia el Este
 - D. Sinclinal que buza hacia el Oeste
10. En la letra **R** sobre la sección de base o fondo, los reflectores arqueados seguramente reflejan un:
- A. Sinclinal que buza hacia el Este
 - B. Anticlinal que buza hacia el Oeste
 - C. Bloque fallado rotado
 - D. Sinclinal que buza hacia el Norte

Cubo sísmico 3D

Clave de respuestas

1. D

2. A

3. C

4. D

5. B

6. D

7. D

8. B

9. A

10. A