

## EVALUACIÓN PETROFÍSICA DE YACIMIENTOS CONVENCIONALES Y NO-CONVENCIONALES

|                            |                                                                                                                                      |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>FECHA:</u>              | Lunes 18 al Jueves 21 de Noviembre de 2013                                                                                           |
| <u>LUGAR:</u>              | Oficinas de YPF – Macacha Guemes 515 – Puerto Madero                                                                                 |
| <u>HORARIO:</u>            | 8:30 a 12:30 h 13:30 a 17:30 h                                                                                                       |
| <u>VALOR INSCRIPCIÓN:</u>  | SOCIOS 2.300 USD y NO SOCIOS 2.450 USD                                                                                               |
| <u>CIERRE INSCRIPCIÓN:</u> | Viernes 1 de Noviembre de 2013                                                                                                       |
| <u>IDIOMA:</u>             | Español                                                                                                                              |
| <u>INSCRIPCIONES:</u>      | <a href="mailto:Cursos@spe.org.ar">Cursos@spe.org.ar</a> indicando nombre y apellido, curso solicitado y Empresa a la que pertenece. |
| <u>IMPORTANTE:</u>         | Disponer de notebook, para la realización de ejercicios.                                                                             |

### OBJETIVOS

1. Introducción práctica e intuitiva a procedimientos modernos de adquisición e interpretación de perfiles de pozo abierto y pruebas de coronas.
2. Introducción a los métodos de estimación de litología, tipo de fluidos, porosidad, saturación, y permeabilidad.
3. Introducción a las técnicas modernas de adquisición de registros de pozo.
4. Introducción a los procedimientos de evaluación petrofísica y elástica de formaciones no convencionales, incluyendo pelitas orgánicas y carbonatos.
5. Ejercicios prácticos de evaluación de formaciones.

### ESTÁ DIRIGIDO A

Geólogos, geofísicos, ingenieros petroleros, y gerentes-supervisores de proyectos interesados en la delineación comercial de reservorios a través del uso integral y eficiente de los registros de pozo y los datos sísmicos 3D. Como único antecedente se requiere que el alumno conozca los principios básicos de la adquisición e interpretación de registros de pozo.

### PROGRAMA DEL CURSO

#### Nociones y Principios Básicos en Registros de Pozo

1. Historia breve del origen de los registros de pozo.
2. Variables de adquisición de datos en registros de pozo.
3. Intervalo de muestreo, resolución vertical, y profundidad de penetración de registro de pozos.

#### Comparación con datos sísmicos.

4. Diferencia entre las propiedades in-situ de rocas y de núcleos medidas en el laboratorio. Efectos de compactación.
5. Relaciones entre las variables petrofísicas y las mediciones físicas. Significado práctico de las teorías de medios equivalentes.
6. Técnicas de registro de pozos simultáneas a la perforación (LWD).
7. Técnicas de adquisición en pozos horizontales y desviados.

8. Ambiente de pozo, invasión de lodo de perforación, y película de enjarre.
9. Modelos de invasión en pozos horizontales y desviados. Modelos de invasión con lodos de perforación basados en agua y en petróleo. Modelos de invasión en formaciones gasíferas.
10. Nomenclatura y convenciones.
11. Principios de los registros SP, limitantes, y métodos de interpretación cualitativa y cuantitativa.

### **Principios Básicos de Petrofísica**

1. Conceptos de porosidad y saturación. Saturación y porosidad efectivas y totales.
2. Saturación de agua irreducible y concepto de mojabilidad.
3. Concepto de permeabilidad.
4. Concepto de permeabilidad relativa y tensión interfacial entre fluidos inmiscibles.
5. Concepto de presión capilar. Diferencia entre la saturación de agua irreducible y la saturación de agua capilar. Mojabilidad de petróleo. Ciclo de histéresis en la presión capilar y en la permeabilidad relativa.

### **Propiedades Eléctricas de las Rocas**

1. Diferencia entre resistividad y resistencia.
2. Resistividad eléctrica de sólidos y de soluciones acuosas.
3. Resistividad eléctrica de rocas saturadas de agua y de rocas parcialmente saturadas de hidrocarburos.
4. Relación entre la frecuencia de propagación electromagnética y las propiedades petrofísicas.
5. Ecuaciones de Archie I y II. Suposiciones y límites de aplicación práctica. Conceptos de tortuosidad y cementación. Exponente de saturación. Efecto de la mojabilidad.
6. Resistividad eléctrica de las rocas clásticas en presencia de arcilla dispersa, estructural, y laminar.
7. Resistividad eléctrica de rocas carbonatadas. Comportamiento de los exponentes de cementación y saturación en las ecuaciones de Archie I y II.
8. Métodos usados para la estimación de la resistividad de agua de formación.
9. Análisis de incertidumbre en los cálculos de saturación de agua basados en mediciones de resistividad eléctrica.
10. Ecuaciones de Simandoux, Waxman-Smiths, Agua Doble, etc., para la interpretación petrofísica de mediciones eléctricas en rocas clásticas con arcilla.

### **Técnicas modernas de interpretación de registros eléctricos y electromagnéticos**

1. Principios básicos de operación de herramientas eléctricas. Laterolog versus inducción electromagnética. Intervalos de operación práctica. Herramientas eléctricas y electromagnéticas someras y de resolución radial variable. Distancia de penetración.
2. Mediciones crudas y procesamiento básico de datos.
3. Correcciones ambientales y precisión de las mediciones.
4. Correcciones necesarias para enfatizar las resoluciones vertical y radial.
5. Efecto de bordes verticales de capa. Modelos de invasión sencilla.
6. Simulación numérica sobre perfiles de invasión complejos.

### **Ejercicios Prácticos en Computadora**

#### **Adquisición e Interpretación de Registros Nucleares de Densidad**

1. Principios físicos de operación del registro de densidad. Conceptos de energía y conteo de rayos gama. Tipos de fuentes nucleares de rayos gama y mecanismos de pérdida de energía de rayos gama.
2. Registros de densidad y fotoeléctricos. Distancia radial de penetración y resolución vertical.
3. Configuración de las herramientas de densidad. Control de calidad. Correcciones ambientales.
4. Relación entre la densidad de electrones y la densidad gravimétrica de las rocas.
5. Determinación de litología basada en el uso de las mediciones de densidad y del factor fotoeléctrico.
6. Estimación de porosidad total basada en las mediciones de densidad. Estimación de porosidad total en presencia de dos o más tipos de grano. Estimación de porosidad total en presencia de arcilla. Estimación de porosidad total en presencia de dos o más tipos de fluidos no miscibles. Uso de datos de núcleo.
7. Relación entre la porosidad efectiva y la resistividad. Consideración de las diferencias entre la penetración radial y resolución vertical de las herramientas de densidad y de resistividad.
8. Método iterativo para la determinación de porosidades y saturaciones efectivas.

### **Registros de Resonancia Magnética Nuclear (NMR)**

1. Principios básicos del fenómeno de NMR en medios porosos.
2. Fenómenos de relajamiento temporal. Definición de tiempos axiales y transversales, y su relación con las propiedades de los fluidos y con la distribución poral en rocas.
3. Fenómeno de difusión y su relación con las propiedades de los fluidos.
4. Adquisición de datos a pozo abierto. Configuraciones comerciales, resolución vertical y distancia de penetración radial. Efectos ambientales y de invasión de lodo de perforación.
5. Series de pulsos y sincronización artificial de la precesión de protones en presencia de gradientes en el campo magnético externo. Secuencias de pulso CPMG.
6. Métodos cuantitativos de interpretación de datos de NMR. Suposiciones y aproximaciones. Estimación de curvas de tiempo transversal.
7. Interpretación de las curvas de tiempo transversal en términos de distribuciones porales y fluidos. Conceptos de porosidades y saturaciones totales y efectivas. Influencia de la arcilla en arenas sucias. Influencia y uso de los modelos de difusión para identificar la existencia de más de un fluido.
8. Estimaciones indirectas de permeabilidad efectiva y presión capilar.
9. Simulaciones numéricas. Análisis en carbonatos e influencia adversa entre regiones con micro y macro porosidad.
10. Integración de datos NMR con otras mediciones de pozo. Estimación de saturaciones y volúmenes de arcilla.

### **Evaluación Petrofísica y Elástica de Formaciones No Convencionales**

1. Génesis y diagenesis de pelitas orgánicas. Condicionamientos diagenéticos en la madurez de hidrocarburo contenido en pelitas orgánicas.
2. Variables espaciales en la cuantificación petrofísica, elástica, y mecánica de pelitas orgánicas.
3. Modelos petrofísicos utilizados para la evaluación de pelitas orgánicas.
4. Mediciones de laboratorio utilizadas para la evaluación de pelitas orgánicas.
5. Condicionantes petrofísicos para la producción de hidrocarburos en pelitas orgánicas. Difusión, adsorción, y difusión tipo Knudsen. Cálculo de permeabilidad.
6. Ejemplos de evaluación petrofísica en pelitas orgánicas. Método de Passey.
7. Condicionantes mecánicos para la planeación de hidrofracturas. Evaluación de propiedades elásticas y mecánicas de pelitas orgánicas. Presencia de anisotropía elástica.
8. Procedimientos recomendados para la recabación de perfiles de pozo en pelitas orgánicas. Mediciones de coronas recomendadas.
9. Factor de recuperación en pelitas orgánicas.

### **CV DEL INSTRUCTOR**



Carlos Torres Verdín concluyó en 1982 sus estudios de Ingeniería Geofísica en el Instituto Politécnico Nacional de México, su Maestría en Ingeniería Eléctrica, en The University of Texas at Austin en 1985, y su Doctorado (Ph.D.) en Geofísica Aplicada en la University of California, Berkeley en 1991. Trabajó en 1982-1983 como Ingeniero de Desarrollo en el Instituto Mexicano del Petróleo en proyectos de gravimetría, magnetometría, y sismología de reflexión.

Ha realizado extensos trabajos de consultoría en el uso de los métodos electromagnéticos de exploración en EEUU, Japón, Italia, y Chile, especialmente en la aplicación del método magnetotelúrico denominado Electromagnetic Array Profiling (EMAP). De 1991 a 1997 trabajó como investigador científico para Schlumberger-Doll Research en Ridgefield, Connecticut, EEUU, desarrollando nuevas metodologías para la adquisición e interpretación de mediciones electromagnéticas de pozo, y tomográficas entre pozos, así como en la caracterización de reservorios a través de mediciones dinámicas con sensores permanentes de presión y de campos electromagnéticos

naturales e inducidos. También desarrolló modelos matemáticos para la simulación numérica eficiente del flujo de fluidos en medios porosos, y de propagación de ondas acústicas de baja frecuencia.

De 1997 a 1999 trabajó como Especialista de Reservorios para la División de Exploración, y como Product Champion (proyectos especiales) para la Vicepresidencia de Ingeniería y Tecnología, ambas de YPF, S.A., en Buenos Aires, Argentina. Desde agosto de 1999 es profesor titular del Department of Petroleum and Geosystems Engineering en The University of Texas at Austin, donde actualmente sustenta la posición de Zarrow Centennial Professor in Petroleum Engineering, y donde dicta cátedras en registros de pozo, evaluación de formaciones, caracterización integral de yacimientos, simulación e inversión de registros de pozo, y de programación de computadoras y simulación numérica.

Es fundador y director del programa y consorcio de investigación de Evaluación de Formaciones (Formation Evaluation) del Center for Petroleum and Geosystems Engineering, el cual comprende varios programas de investigación básica y aplicada en evaluación de formaciones, integración de datos, y caracterización de yacimientos. Sus trabajos de investigación están patrocinados por las compañías Anadarko Petroleum Corporation, Aramco, Baker Hughes, BHP Billiton, BP, BG, ConocoPhillips, Chevron, ENI E&P, ExxonMobil, Halliburton Energy Services, Hess, Instituto Mexicano del Petróleo, Maersk, Marathon Oil Corporation, Nexen Inc., Occidental Petroleum Corporation, ONGC, Pathfinder, Petrobras, Repsol, Schlumberger, Shell International E&P, Statoil, TOTAL, y Weatherford.

Ha publicado más de 115 artículos en revistas técnicas y científicas en EEUU y en Europa, y más de 150 trabajos en conferencias técnicas internacionales. Es autor de dos patentes en EEUU, y ha fungido como editor invitado para la revista técnica Radio Science. También ha sido editor técnico de las revistas Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Petrophysics (Society of Professional Well Log Analysts), y SPE Journal (Society of Petroleum Engineers), y es actualmente editor técnico de la revista Geophysics.

El Dr. Torres Verdín es también miembro del comité de investigación de la SEG (Society of Exploration Geophysicists) y ha sido dos veces miembro del comité técnico de la SPWLA (Society of Petrophysicists and Well Log Analysts). Ha sido acreedor al premio académico y de investigación Engineering Foundation Award del Engineering College de The University of Texas at Austin (2001), de enseñanza Departmental.