Programa Analítico y de Examen de la Asignatura:
"Prospección Sísmica"

Licenciatura en Geofísica
(Despliegue Semestral, 2do Semestre, 4to año, 8 hs/semana)
Profesor Titular: Dra. Patricia Alvarado
Profesor Adjunto: Esp. Prog. Mauro Saez
JTP: Lic. Arturo Guell
Año: 2016

Programa Analítico

Tema 1: *Historia de los Métodos Geofísicos. Etapas en la Prospección Sísmica.*

Campos geofísicos naturales y artificiales. Comparación del método sísmico con otros métodos geofísicos. Importancia del método sísmico. Breve historia de la exploración sísmica. Formación de reservorios. Reservas comprobadas y semicomprobadas. Cuencas sedimentarias de la Argentina. Perspectivas Exploratorias. Etapas en la Prospección Sísmica: Adquisición de Datos, Procesamiento de Datos e Interpretación de Datos Sísmicos. Factores que influyen en cada una de estas etapas. Sísmica terrestre y Sísmica marina. Sísmica 3-D. Sísmica 4-D. Tomografía Sísmica. Conceptos generales de la técnica de registración CMP (common-midpoint). Diagrama en block de un equipo sismográfico digital.

Tema 2: *Adquisición de Datos. Análisis de Señales Geofísicas.*

Geometría de registración de campo. Configuraciones utilizadas en la adquisición de datos terrestre y marina. Diagrama en block de un equipo digital. Análisis y estudio de cada una de las etapas de este diagrama. Cables para registración sísmica. Geófonos. Hidrófonos. Tipos de hidrófonos. Ristras. Pattern de recepción. Generalidades. Formas de operar en la adquisición de datos marina y terrestre. Tendidos de registración simétrico, asimétrico y cuasi-simétrico.

Multiplexeo y demultiplexeo. Teorema del muestreo. Frecuencia de muestreo y de Nyquist. Preamplificación. Transformada de Fourier para una función continua. Propiedades. Transformada Inversa de Fourier. Teorema de la Convolución. Correlación. Autocorrelación. Propiedades. Señales discretas. Transformada de Fourier y Transformada Inversa de Fourier para señales discretas. Digitalización de una señal. Transformada z. Aliasing. Filtros low-cut y high-cut. Filtros recursivos. Filtro notch o muesca. Filtro band-pass. Su construcción en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia. Necesidad de su aplicación. Amplificador I.F.P. Amplificación binaria. Formatos de grabación: *SEG A, SEG B, SEG C, SEG D, SEGY*. Rango dinámico. Sistema dinámico y sistema hexadecimal. Formatos de procesamiento. Plataformas para el análisis y procesamiento de datos sísmicos.

Tema 3: Emisión de Energía Sísmica.

Explosivos. Tipos de explosivos. Cargas utilizadas. Fuentes profundas. Perforación de pozos para sísmica. Pruebas de carga y pruebas de profundidad. Fuentes superficiales.

Vibroseis. Breve descripción de cada uno de estos equipos. Formas de operar con los vibradores en el campo. Necesidad de correlacionar la señal grabada en el método vibroseis. Proceso de correlación. Pattern de emisión con el empleo de vibradores. Move-out. Concepto de barridos. Tiempo de grabación. Tiempo de escucha. Señal piloto.

Air-guns. Presión en la fuente de emisión. Emisión múltiple.

Comparación de las fuentes citadas.

Otras formas de emisión de energía sísmica: thumper, dinoseis.

Tema 4: Propagación de Ondas. Propiedades de las Rocas.

Estudio analítico de la propagación de ondas sísmicas. Propiedades elásticas de las rocas. Ecuación de onda. Análisis de la misma. Ondas primarias (P) y secundarias (S) en un medio homogéneo. Leyes fundamentales de la sísmica. Principios de Fermat y de Huygens. Leyes de Snell. Arribos directos. Refracciones y reflexiones. Expresiones matemáticas para estos eventos.

Velocidades de propagación de ondas P y S . Variación de la velocidad de propagación con la densidad, con la presión, con la temperatura. Relación con la porosidad. Curvas experimentales y teóricas de velocidad-profundidad. Curvas de Nafe-Drake. Impedancia acústica. Coeficiente de reflexión y de transmisión. Ondícula y concepto de convolución. Modelo convolutivo. Atenuación de la energía sísmica. Expansión del frente de onda. Divergencia esférica y absorción inelástica.

Trazado de rayos. Diagrama τ - p . Su aplicación en la inversión de datos CMP. Dromocronas. Concepto de reflexiones múltiples. Difracciones. Ruidos. Relación señal-ruido. Su mejoramiento.

Tema 5: Método Sísmico de Refracción.

Alcances y limitaciones del método. Distintas formas de operar en el campo. Modelo de capas paralelas a la superficie y horizontales. Expresión matemática del tiempo de refracción. Grafica de los tiempos leídos en un registro sísmico de refracción. Dromocronas. Cálculo de profundidades: distintos métodos. Aplicación. Determinaciones gráficas. Planillas. Modelo de capas inclinadas. Concepto de velocidad aparente. Perfil y Contraperfil. Cálculo de espesores, buzamientos y velocidades para un modelo de una, dos y tres capas inclinadas. Método de reducción. Dromocrona ficticia.

Tema 6: Anomalías en Refracción.

Intercalación de una capa de menor velocidad. Omisión de capas. Fallas. Domo salino. Determinación del espesor de la cubierta aluvional. Desnivel topográfico. Correcciones a realizar en refracción. Influencia del weathering. Método del arco. Refracción con velocidad variable. Delay time.

Método de sumación. Su aplicación en el cálculo de espesores irregulares.

Tema 7: Método Sísmico de Reflexión.

Cobertura simple. Distintas formas de operar. Expresión matemática del tiempo de reflexión para capas no buzantes y con buzamiento. Método del perfil continuo. Observación e interpretación de un sismograma. Reflexión con velocidad variable. Ecuación de la trayectoria y del frente de onda. Tiempo de reflexión.

Expresión matemática de R y de h . Sección transversal. Migración. Interpretación de secciones transversales.

Cálculo de espesores y de buzamientos. Concepto de buzamiento aparente y verdadero. Relación matemática entre ambos. Cálculo del buzamiento aplicando métodos sísmicos de reflexión y refracción.

Tema 8: Procesamiento de Datos: Deconvolución y Stacking.

Deconvolución. Filtro inverso. Filtrado de mínimos cuadrados. Filtro de fase mínima. Filtro óptimo de Wiener. Deconvolución predictiva.

Cubertura múltiple. Stacking vertical. Stacking horizontal. Objetivos del stacking. Concepto de punto común medio y de punto superficial medio. Diagramas de punto común profundo.

Reflexiones Múltiples. Expresión matemática del tiempo de una reflexión múltiple para capas horizontales y capas con buzamiento, en un registro sísmico. Concepto de *gather*. Distintos tipos de *gather*s (common-shot *gather*s, common-receiver *gather*s, common-midpoint *gather*s: CMP *gather*, CDP *gather*). Diseño de un dispositivo stacking.

Criterios para determinar el off-set y número de sumas o multiplicidad. Criterios para la elección de tipos de tramos de registración.

Tema 9: Correcciones Estáticas de Campo y Correcciones Dinámicas.

Expresión matemática del tiempo de una reflexión real y de una reflexión múltiple dentro del registro "gather". Correcciones estáticas de incidencia y emergencia. Plano de referencia horizontal e inclinado. Distintos métodos de cálculo de correcciones estáticas: método de espesores, método de enganche en alta, método del tiempo de pozo, método de sumación.

Corrección dinámica. Muestreo de velocidades. Concepto de “stretching” y su expresión matemática. Cálculo del stretching. Curvas de stretching en función de X .

Elección del plano de referencia para la corrección del weathering.

Tema 10: Move-Out. Análisis de Velocidad.

Concepto de Normal Move-Out (NMO). Mapeo de NMO. Variación continua de velocidad. Determinación de la ley de velocidad en pozo profundo. Curva experimental y operaciones de campo. Operación de campo. Determinación de la ley de velocidad en pozo profundo. Ajuste del Perfil sónico a la curva experimental. Ley de velocidad a partir de pruebas de refracción. Determinación de velocidad por el método $X^2 - T^2$.

Velocidad interválica. Velocidad NMO. Velocidad de Stacking. Paneles CVS (“constant velocity stack”). Concepto de velocidad media. Velocidad raíz media cuadrática (V_{RMS}). Fórmula de Dix. Su aplicación.

Velocidad de migración. Velocidad aparente. Su expresión matemática. Variaciones laterales de velocidad.

Espectro de velocidad. Picado de velocidades Factores que afectan la estimación de velocidad. Horizontes marcadores o indicadores. Análisis de velocidad horizontal.

Dip Move-Out.

Correcciones estáticas residuales. Su aplicación dentro de la secuencia sísmica.

Tema 11: Análisis de Ruidos.

Ruidos. Concepto de señales ruidosas. Análisis e identificación de ruidos en un sismograma. Mejoramiento de la relación señal-ruido. Prueba de ruido. Su objetivo. Formas de operar en el campo. Diagrama $T - X$ de una prueba de ruidos. Determinación de las características de un evento ruidoso. Atenuación de ruidos con el empleo de filtros espaciales y filtros digitales. Receptores múltiples con distanciamiento y peso constantes. Receptores múltiples con distanciamiento constante y peso variable. Receptores múltiples con distanciamiento variable y peso constante. Curvas de respuesta para cada caso. Diagramas polares. Consideraciones generales sobre diseño de filtros espaciales. Análisis del deterioro de la señal por angularidad.

Tema 12: Etapa final en el Procesamiento de Datos: Migración.

Concepto de migración sísmica. Sección sísmica antes y después de la migración. Principios de la migración. Migración de off-set cero. Migraciones manuales en tiempo y en profundidad. Distintos métodos de migración: migración de Kirchhoff, migración de diferencias finitas y migración frecuencia-número de onda. Difracciones. Expresión analítica. Comparación con la

ecuación de reflexión. Difracciones en los registros y en las secciones. Discusión de la migración en la aplicación práctica: caso de horizontes inclinados y sin buzamientos, anticlinales, sinclinales y fallas. Análisis de velocidad en la migración.

Tema 13: *Sísmica 3-D. Sísmicidad Inducida*

Naturaleza del problema. Aspectos económicos. Geometría de la adquisición de datos: caso terrestre y marino. Diseño de un dispositivo 3-D. Muestreo espacial. Apertura de la migración. Procesamiento de datos 3-D: caso terrestre y marino. Migración en tiempo: en un paso y en dos pasos. Migración en tiempo vs. profundidad. Interpolación de trazas. Interpretación de datos 3-D. Sus ventajas frente al caso 2-D. Time Slices. Interpretación interactiva. Campos de aplicación. Concepto de Sísmica 4-D. Sísmicidad Inducida por inyección de fluidos. Monitoreo. Estudios observacionales de hidrofracturamiento.

Tema 14: *Interpretación de Datos Sísmicos.*

Conceptos básicos de la interpretación sísmica. Resolución. Comparación entre la interpretación Sísmica 2-D y 3-D. Requerimientos de muestreo. Concepto de volumen. Secciones Verticales y Horizontales "Slicing" al Volumen de datos. Manipulación de Slices. Rango dinámico y cargado de datos. Sinergia y Pragmatismo en la Interpretación Sísmica.

Herramientas de caracterización de reservorios: Inversión de traza 3-D y Atributos sísmicos. Significado de los atributos sísmicos. Ejemplos de Bright Spots, Flat Spots, Dim Spots y Cambios de Fase. Interpretación estructural. Mapas estructurales, isócronos, iso-delta T, isopáquicos, isobáticos, isolíticos, etc. Reconocimiento de fallas y mapeo. Procedimientos en la interpretación estructural. Elementos de sismoestratigrafía. Interpretación estratigráfica. Reconocimiento de la forma característica. Reconstitución de una Superficie Depositional. Métodos de generación de slices horizontales. Ejemplos utilizando "Move".

Tema 15: *Tomografía Sísmica.*

Concepto de tomografía sísmica. Principios de la tomografía radiológica. Su similitud con la tomografía sísmica. Transformada de Radon. Tomografía sísmica: pasos para ejecutarla. Técnica de reconstrucción algebraica (proceso ART) y Técnica de reconstrucción iterativa simultánea (proceso SIRT). Errores y resolución en los procedimientos algebraicos. Aplicaciones de la tomografía sísmica en la geofísica aplicada.

Programa Sintético

Etapas en la Exploración Sísmica: Adquisición, Procesamiento de Datos Sísmicos e Interpretación Sísmica. Trampas Estructurales y Estratigráficas. Propagación de ondas sísmicas. Instrumental. Principios del Método Sísmico de Reflexión. Stacking. Sísmica 2-D y 3-D. Correcciones Estáticas y Dinámicas.

Análisis de Velocidades Sísmicas. Propiedades de las Rocas. Análisis de Ruidos: dispositivos espaciales y digitales. Migración. Tomografía Sísmica. Cubo sísmico. Interpretación Estructural y Estratigráfica. Caracterización de reservorios. Atributos sísmicos.

Bibliografía

- Seismic Prospecting Instruments. Signal Characteristic and Instruments Specifications*, N. A. Anstey. Geopublication Associate y Geoexploration Monograph. Serie 1 N°3. Edited by G. Grau . París, France y P. N. S. Brien, London. 1981.
- Seismic Reflection Interpretation*, A. A. Fitch y N. A. Anstey. Geopublication Associate y Geoexploration Monograph. Serie 1 N°8. Edited by N. A. Anstey, London y P. N. S. Brien, London. 1981.
- Exploration Seismology. Volume 1: History, theory and data acquisition*, R. E. Sheriff y L. P. Geldart. Cambridge University Press. USA. 1985.
- Exploration Seismology. Volume 2: Data processing and interpretation*, R. E. Sheriff y L. P. Geldart. Cambridge University Press. USA. 1985.
- Seismic data processing*, Özdogan Yilmaz. Stephen M. Doherty, Editor. Society of Exploration Geophysicists. USA. 1987. Segunda edición publicada en Tomo 1 y 2 en 2001.
- Modern Global Seismology*, Thorne Lay y Terry Wallace. Academic Press. USA. 521 pag. Primera edición 1995.
- Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data*, A. R. Brown. Fourth Edition. Published by AAPG, Tulsa, Oklahoma. Primera edición 1996. 424 pág.
- Geophysical estimation by example: Environmental soundings image enhancement: Multi-dimensional autoregression*, Johannes Claerbout, Stanford University, 1999. 253 pág
- Basic Earth Imaging (BEI)*, Johannes Claerbout with Jim Black (of IBM), Stanford University, in 1992-1993. 195 pág
- Earth Soundings Analysis: Processing versus Inversion (PVI)*, Johannes Claerbout, Stanford University, 1992.
- Imaging the Earth's Interior (IEI)*, Johannes Claerbout, Stanford University. 1985. 300 pág.
- Fundamentals of Geophysical Data Processing (FGDP)*, Johannes Claerbout, Stanford University. 1976.
- Introduction to Seismic Interpretation*, R. Mc. Quillin, M. Bacon y W. Barclay. Houston, Gulf Publishing Co. USA. 1979.
- Reservoir Geophysics*, edited by Robert Sheriff. Soc. Expl. Geophys. United States of America. 1994.
- Seismic Tomography: Theory and Practice*, edited by H. M. Iyer and K. Hirahara. 1993.
- Inverse problem theory: Methods for Data fitting and Model parameter estimation*, Tarantola, A.. Elsevier, Amsterdam. 1987.
- The solid earth. An introduction to global geophysics*, Fowler, C.M.R., Cambridge University Press. 1990.
- Geophysical theory*, Menke, W. And Abbot D.. Columbia University Press. 1990.
- "Conceptos generales sobre Tomografía Sísmica"* Pág. 21. Biblioteca Emiliano Aparicio - FCFN. Volumen 622-1592 A472. 1998
- Apuntes de Cátedra: *"Cobertura Simple"*, *"Cobertura Múltiple"*, *"Correcciones Estáticas"*, *"Método desumación"*, *"Sísmica 3-D"*, *"Elementos de Interpretación Sísmica"*.
- Diferentes artículos de revistas científicas, libros obtenidos vía internet y CD relacionados con la temática proporcionados durante el dictado de la materia.
- Nota:** La bibliografía que no se encontrara disponible en la Biblioteca de la FCFN, será proporcionada por la Cátedra.