

PROGRAMA DE CURSO

EXPLORACIÓN POR MÉTODOS SÍSMICOS

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Geofísica (DGF)					
Nombre del curso	Exploración por métodos sísmicos	Código	GF5009	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Exploration by seismic methods</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	GF4029: Análisis de señales, GF4006: Métodos de exploración geofísica					

B. Propósito del curso:

Este curso está orientado a entregar los conocimientos relacionados con la aplicación de ondas elásticas (sísmicas) como método geofísico para la exploración del subsuelo. El método sísmico tiene aplicaciones tales como prospección minera o petrolera, estudio de suelos, y estudio de estructuras geológicas a escala regional.

El/la estudiante podrán interpretar datos y modelos obtenidos por el método sísmico, utilizando información proveniente de la propagación de ondas elásticas en el interior de una cierta unidad geológica que se desea estudiar. La interpretación de los registros sísmicos, permitirá al estudiante determinar las velocidades de propagación y las discontinuidades en el interior del cuerpo en estudio, y con ello la geometría de las diferentes unidades que lo componen.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE4: Caracterizar las variables geofísicas asociadas a la prospección de los recursos naturales, procesando los datos obtenidos en terreno.

CE5: Interpretar los modelos obtenidos con el fin de ubicar y cuantificar la disponibilidad de los recursos naturales.

CETS7: Evaluar la factibilidad de ejecución proyectos geofísicos, considerando elementos técnicos, éticos, socioeconómicos y criterios de sustentabilidad.

CETS8: Evaluar resultados de proyectos geofísicos ejecutados por terceros, considerando la ética, la viabilidad socioeconómica y el impacto ambiental, en función de sus objetivos.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

CG4: Trabajo en equipo

Trabajar en equipo, de forma estratégica y colaborativa, en diversas actividades formativas, a partir de la autogestión de sí mismo y de la relación con el otro, interactuando con los demás en diversos roles: de líder, colaborador u otros, según requerimientos u objetivos del trabajo, sin discriminar por género u otra razón.

C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE4	RA1: Modela la propagación de ondas elásticas (sísmicas) en medios complejos para determinar sus velocidades y las discontinuidades contenidas en el subsuelo.
CE5, CETS7	RA2: Procesa e interpreta datos sísmicos de terreno como herramienta de exploración geofísica que permite la caracterización del subsuelo, usando algoritmos computacionales.
CE5, CETS8	RA3: Determina las limitaciones y ventajas del uso del método sísmico comparándolo con otros métodos de exploración geofísica (gravimetría, métodos eléctricos, entre otros).
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA4: Elabora un reporte de laboratorio y una presentación oral sobre el procesamiento e interpretación de datos sísmicos de una cierta zona, considerando registro de habla formal, claridad, precisión técnica en su propuesta y en el desarrollo de sus ideas.
CG4	RA5: Trabaja en equipo en actividades de procesamiento e interpretación de datos sísmicos, distribuyendo de manera equitativa las tareas ejecutadas para este proceso.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1	Propagación de ondas elásticas desde una fuente puntual: aspectos generales	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>1.1. Ecuación de ondas en medios elásticos. Especialización a medio elástico isótropo inhomogéneo general y medio acústico.</p> <p>1.2. Soluciones elementales en un medio homogéneo. Ondas compresionales (P) y de corte (S).</p> <p>1.3. Medio inhomogéneo, aproximación de alta frecuencia o teoría de rayos a partir de la ecuación de ondas.</p> <p>1.4. Caso acústico: Ecuaciones eikonal y de transporte, definición formal de frentes de ondas y rayos, trazado de rayos en medios complejos tridimensionales, solución formal de la ecuación de transporte y definición de función de divergencia geométrica.</p> <p>1.5. Caso elástico: Ecuaciones eikonal y de transporte para ondas P y S, soluciones elementales de teoría de rayos para ondas P y S, geometría del rayo curvatura y torsión, fórmulas de Frénet.</p> <p>1.6. Principio de Fermat: Punto de vista alternativo para el trazado de rayos.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> Utiliza la ecuación de ondas en medios elásticos isótropo inhomogéneo general y medio acústico. Maneja las ecuaciones para trazado de rayos, considerando su derivación a partir de la aproximación de alta frecuencia o teoría de rayos o a partir del principio de Fermat. Calcula la divergencia geométrica en ciertos medios elementales. 	
Bibliografía de la unidad		<p>-AKI, K. & P. RICHARDS, Quantitative Seismology, Theory and Methods. W.H. Freeman and Co., Second Edition, 2002.</p> <p>-CERVENY, V., Seismic Ray Theory, Cambridge University Press, 2001.</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA2	Trazado de rayos y cálculo de tiempos de travesía en la práctica	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Diferentes parametrizaciones y algunos casos de funciones de velocidad especiales. 2.2. Medio unidimensional $V = V(z)$. 2.3. Medio bidimensional $V = V(x, z)$. 2.4. Métodos numéricos: integración numérica por método de Runge-Kutta con condiciones iniciales conocidas. 2.5. Trazado de rayos entre dos puntos (condiciones de borde conocidas), reseña de algunos métodos: prueba y error, bending, aplicación directa de principio de Fermat.		El/la estudiante: 1. Calcula curvas Camino - Tiempo en medios 1D y 2D, con trazado de rayos asociados, a partir de ejemplos que se le presentan 2. Modela curvas Camino-Tiempo asociadas a datos de campo, usando trazados de rayos sísmicos en medios inhomogéneos.	
Bibliografía de la unidad		-CERVENY, V., Seismic Ray Theory, Cambridge University Press, 2001. -Apuntes del curso.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA2	Medio unidimensional en detalle	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Parámetro de rayo (p), lentitud horizontal y vertical, ley de Snell. 3.2. Expresiones generales para el cálculo paramétrico (según parámetro de rayo p) de distancia recorrida y tiempo de travesía, curvas camino tiempo (X-T). Cálculo de factor de divergencia geométrica. 3.3. Modelo de N capas planas homogéneas 3.4. Curvas camino tiempo parareflexiones desde diferentes interfaces para modelos de capas planas homogéneas, aproximación hiperbólica para distancias pequeñas o incidencia cercana a la normal.		El/la estudiante: 1. Calcula curvas Camino - Tiempo y factor de divergencia geométrica, utilizando modelos de capas homogéneas o con gradiente de velocidad constante, a fin de prospectar unidades geológicas unidimensionales simples. 2. Modela datos sísmicos para modelos de N capas homogéneas incluyendo ondas reflejadas y refractadas para la prospección de unidades geológicas unidimensionales simples.	

<p>Inversión, utilizando reflexiones: Fórmula de Dix.</p> <p>3.5. Curvas Camino - Tiempo para refracciones desde diferentes interfaces, inversión para modelos de capas planas homogéneas, utilizando refracciones.</p> <p>3.6. Fórmulas básicas para el cálculo de curvas camino tiempo en capa con gradiente de velocidad constante.</p> <p>3.7. Modelo combinado de capas planas homogéneas y de gradiente vertical de velocidad constante.</p> <p>3.8. Curvas Camino - Tiempo para modelo combinado, y su utilización en la determinación de modelos de velocidad versus profundidad por ajuste interactivo de curvas camino-tiempo a datos reales.</p>	
<p>Bibliografía de la unidad</p>	<p>-SHEARER, P. M., Introduction to Seismology, Cambridge University Press, Second Edition, 2009.</p>

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA1, RA3	Elementos de tomografía sísmica	2,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>4.1. Planteamiento general del problema, discretización del medio en estudio.</p> <p>4.2. Inversión tomográfica, uso de normas (L_n) como medida de la bondad de la inversión, aproximación de rayos rectos.</p> <p>4.3. Técnicas de reconstrucción algebraica: Back Projection (BP), Algebraic Reconstruction Technique (ART), Simultaneous Iterative Reconstruction Technique (SIRT).</p> <p>4.4. Ejemplo de tomografía bidimensional entre pozos verticales.</p> <p>4.5. Nociones de tomografía bidimensional e inversión de conjunta de fases refractadas y reflejadas</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> Describe los conceptos generales de la tomografía bidimensional. Plantea la discretización del campo de velocidad a invertir, para modelar tiempos de llegada de ondas sísmicas a un número apreciable de receptores. Identifica parámetros para optimizar la inversión. Maneja las técnicas de inversión de Back Projection (BP), Algebraic Reconstruction Technique (ART), Simultaneous Iterative Reconstruction Technique (SIRT), a fin de invertir datos sísmicos y obtener modelos de velocidad. Explica los conceptos generales de cálculo de incertezas de la inversión en función de la calidad de los datos reales. 	

Bibliografía de la unidad	-Korenaga, J., Holbrook, W. S., Kent, G. M., Kelemen, P. B., Detrick, R. S., Larsen, H. C., ... & Dahl-Jensen, T. (2000). Crustal structure of the southeast Greenland margin from joint refraction and reflection seismic tomography. <i>Journal of Geophysical Research: Solid Earth</i> , 105(B9), 21591-2161.
---------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA2, RA4, RA5	Sísmica de reflexión	5,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
5.1. Solución elemental de la ecuación de ondas en la aproximación acústica, ondas planas. 5.2. Coeficientes de reflexión y transmisión para una interfaz. 5.3. Consideración de varias interfaces, coeficientes de reflexión generalizados, reflectividad de un modelo de n capas.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Procesa datos de reflexión de alta resolución, con el objeto de producir imágenes detalladas del subsuelo. 2. Analiza la forma de onda de sismogramas para inferir fuertes contrastes de impedancia acústica, aplicables a problemas de prospección de recursos naturales. 3. Genera reportes sobre procesamiento de datos de una zona, considerando el uso de un lenguaje y nomenclatura técnica. 4. Realiza una exposición oral sobre los resultados del procesamiento de dato, utilizando un registro de habla formal académico y profesional, considerando las diferentes audiencias a las que se dirige. 5. Trabaja con su equipo, según el rol asignado, en las tareas y actividades comprometidas considerando formalidades de la entrega y organización del trabajo. 	
Bibliografía de la unidad		-YILMAZ, O., Seismic Data Processing, Society of Exploration Geophysicists, Second Edition, 2001. -SCALES, J.A., Theory of Seismic Imaging, Samizdat Press, http://samizdat.mines.edu/	

E. Estrategias de enseñanza-aprendizaje:

El curso considera diversas estrategias de enseñanza:

- Clases expositivas.
- Laboratorios computacionales.
- Análisis de caso: logrado a través del trabajo en equipo con exposición oral y escrita.

F. Estrategias de evaluación:

El curso tiene distintas instancias de evaluación de proceso:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje (RA) asociado a la evaluación
• Controles (2 o 3).	Evalúa RA1, RA3
• Tareas en base a la teoría entregada en clases y programación de algoritmos computacionales (2 o 3).	Evalúa RA2
• Informe de procesamiento de datos (laboratorio), con su correspondiente exposición oral.	Evalúa RA4, RA5
• Examen.	Evalúa RA1, RA3

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria:

1. AKI, K. & P. RICHARDS, Quantitative Seismology, Theory and Methods. W.H. Freeman and Co., Second Edition, 2002.
2. CERVENY, V., Seismic Ray Theory, Cambridge University Press, 2001.
3. CLAERBOUT, J., Basic Earth's Imaging, <http://sepwww.stanford.edu/sep/prof/index.html>.
4. SCALES, J.A., Theory of Seismic Imaging, Samizdat Press, <http://samizdat.mines.edu/>.
5. SHEARER, P. M., Introduction to Seismology, Cambridge University Press, Second Edition, 2009.
6. YILMAZ, O., Seismic Data Processing, Society of Exploration Geophysicists, Second Edition, 2001.
7. Korenaga, J., Holbrook, W. S., Kent, G. M., Kelemen, P. B., Detrick, R. S., Larsen, H. C., ... & Dahl-Jensen, T. (2000). Crustal structure of the southeast Greenland margin from joint refraction and reflection seismic tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B9), 21591-2161

H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Primavera, 2022
Elaborado por:	Emilio Vera y Eduardo Contreras
Validado por:	CTD de Geofísica
Revisado por:	Área de Gestión Curricular