



NATIONAL AUTONOMOUS UNIVERSITY OF MEXICO
SCHOOL OF ENGINEERING



COURSE SYLLABUS

GEOPHYSICAL DATA INVERSION	2966	9	8
Course	Code	Semester	Credits
EARTH SCIENCES ENGINEERING	GEOPHYSICAL ENGINEERING	GEOPHYSICAL ENGINEERING	
Division	Department	Undergraduate Program	

Course:

Hours /week:

Hours / Semester:

Compulsory

X

Lecture

4.0

Lecture

64.0

Elective

Practical

0.0

Practical

0.0

Total

4.0

Total

64.0

Mode: Lecture-based

Prerequisite course: none

Subsequent course: none

Course Objective(s)

The student will apply mathematical tools to formulate models that represent the various physical phenomena under study in geophysical engineering, as well as linear and non linear optimization techniques to estimate the parameters of such models from observations or field data.

Course Topics

No.	TITLE	HOURS
1.	Introduction	4.0
2.	The inverse problem	6.0
3.	Least squares solution of the Gaussian inverse problem	10.0
4.	Anatomy of inverse problems	6.0
5.	Nonlinear inverse problem	10.0
6.	Linearization techniques	8.0
7.	Global optimization methods (heuristics)	20.0
		64.0
	Practical Activities	0.0
	Total	64.0

1. Introduction

Objective: The student will identify the essential computational tools to meet the expectations of the course.

Content:

1.1 Basic concepts of programming in Fortran.

1.2 Programming of algorithms for the solution of systems of simultaneous linear equations.

2. The inverse problem

Objective: The student will understand the definitions of direct and inverse problem, the relationship between the observed data and the parameters of the mathematical model that represents the geophysical phenomenon of interest. The student will recognize the basic elements to relate model parameters to observations or data.

Content:

2.1 Formulation of an inverse problem (linear and nonlinear).

2.2 Examples of inverse problems.

2.3 Possible and feasible solutions.

2.4 Square, underdetermined and overdetermined problem.

2.5 Inverse problem posing in geophysics.

3. Least squares solution of the Gaussian inverse problem

Objective: The student will apply the optimization technique called least squares and its variants, as a strategy to pose a linear inverse problem, assuming a Gaussian distribution for the data and parameters of the geophysical model.

Contents:

3.1 Gaussian distribution.

3.2 Distance measures in a Euclidean space.

3.3 Solution of the linear least-squares inverse problem.

3.4 Least-squares inversion of geophysical problems whose data are fitted to a straight line, parabola and least-squares plane.

4. Anatomy of inverse problems

Objective: The student will identify the most important characteristics of inverse problems solved in geophysics.

Content:

4.1 Non-uniqueness.

4.2 Error rules.

4.3 Model space.

4.4 Cost surfaces.

5. Nonlinear inverse problem

Objective: The student will understand the concept of nonlinear problem and will recognize the types of nonlinearity in the inverse problems.

Content:

- 5.1** Parametric analysis.
- 5.2** Linear and nonlinear behavior of parameters.
- 5.3** Local and global convergence.
- 5.4** Examples of nonlinear inverse problems in geophysics.

6. Linearization techniques

Objective: The student will apply methods to transform a nonlinear problem into a linear one.

Content:

- 6.1** Nonlinearizable nonlinear inverse problem.
- 6.2** Construction of the sensitivities matrix.
- 6.3** Taylor's series approximation.
- 6.4** Numerical approximation of the sensitivities matrix.
- 6.5** Strongly nonlinear problems.
- 6.6** Solution of nonlinear, linearizable geophysical problems.

7. Global optimization methods (heuristics)

Objective: The student will apply heuristic methods that are used to solve nonlinear multiparametric geophysical problems.

Content:

- 7.1** Global optimization versus local optimization.
- 7.2** Monte Carlo method.
- 7.3** Simulated Annealing method.
- 7.4** Evolutionary algorithms.
- 7.5** Other techniques.
- 7.6** Solution of geophysical problems with heuristic methods.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROGRAMA DE ESTUDIO

INVERSIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS

2966

9

8

Asignatura

Clave

Semestre

Créditos

INGENIERÍA EN CIENCIAS
DE LA TIERRA

INGENIERÍA GEOFÍSICA

INGENIERÍA
GEOFÍSICA

División

Departamento

Licenciatura

Asignatura:

Obligatoria ☒

Optativa ☐

Horas/semana:

Teóricas

Prácticas

Total

Horas/semestre:

Teóricas

Prácticas

Total

Modalidad: Curso teórico

Seriación obligatoria antecedente: Ninguna

Seriación obligatoria consecuente: Ninguna

Objetivo(s) del curso:

El alumno aplicará herramientas matemáticas para formular modelos que representan los diversos fenómenos físicos bajo estudio en la ingeniería geofísica, así como las técnicas de optimización lineal y no lineal para estimar los parámetros de dichos modelos a partir de observaciones o datos de campo.

Temario

NÚM.	NOMBRE	HORAS
1.	Introducción	4.0
2.	El problema inverso	6.0
3.	Solución por mínimos cuadrados del problema inverso gaussiano	10.0
4.	Anatomía de los problemas inversos	6.0
5.	Problema inverso no lineal	10.0
6.	Técnicas de linealización	8.0
7.	Métodos de optimización global (heurísticos)	20.0
		64.0
	Actividades prácticas	0.0
	Total	64.0

1 Introducción

Objetivo: El alumno identificará las herramientas computacionales esenciales para cubrir las expectativas del curso.

Contenido:

- 1.1 Conceptos básicos de programación en Fortran.
- 1.2 Programación de algoritmos para la solución de sistemas de ecuaciones lineales simultáneas.

2 El problema inverso

Objetivo: El alumno comprenderá las definiciones de problema directo e inverso, la relación que existe entre los datos observados y los parámetros del modelo matemático que representa al fenómeno geofísico de interés. El alumno reconocerá los elementos básicos para relacionar los parámetros del modelo con las observaciones o datos.

Contenido:

- 2.1 Formulación de un problema inverso (lineal y no lineal).
- 2.2 Ejemplos de problemas inversos.
- 2.3 Soluciones posibles y factibles.
- 2.4 Problema cuadrado, sub- y sobredeterminado.
- 2.5 Planteamiento de problemas inversos en geofísica.

3 Solución por mínimos cuadrados del problema inverso gaussiano

Objetivo: El alumno aplicará la técnica de optimización denominada mínimos cuadrados y sus variantes, como una estrategia para plantear un problema inverso lineal, asumiendo una distribución gaussiana para los datos y parámetros del modelo geofísico.

Contenido:

- 3.1 Distribución gaussiana.
- 3.2 Medidas de distancia en un espacio euclideo.
- 3.3 Solución del problema inverso lineal por mínimos cuadrados.
- 3.4 Inversión por mínimos cuadrados de problemas geofísicos cuyos datos se ajustan a una línea recta, parábola y plano por mínimos cuadrados.
- 3.5 La matriz de resolución: datos y modelo.
- 3.6 La matriz unitaria de covarianza.
- 3.7 Inversa generalizada.
- 3.8 La relación entre resolución y variancia.
- 3.9 Aplicaciones de inversión por mínimos cuadrados en problemas de geofísica.

4 Anatomía de los problemas inversos

Objetivo: El alumno identificará las características más importantes de los problemas inversos que se resuelven en geofísica.

Contenido:

- 4.1 No unicidad.
- 4.2 Normas de error.
- 4.3 Espacio de modelos.
- 4.4 Superficies de costo.

5 Problema inverso no lineal

Objetivo: El alumno comprenderá el concepto de problema no-lineal y reconocerá los tipos de no linealidad en los problemas inversos.

Contenido:

- 5.1 Análisis paramétrico.

- 5.2 Comportamiento lineal y no lineal de los parámetros.
- 5.3 Convergencia local y global.
- 5.4 Ejemplos de problemas inversos no lineales en geofísica.

6 Técnicas de linealización

Objetivo: El alumno aplicará métodos para transformar un problema no lineal en lineal.

Contenido:

- 6.1 Problema inverso no lineal linealizable.
- 6.2 Construcción de la matriz de sensitividades.
- 6.3 Aproximación en serie de Taylor.
- 6.4 Aproximación numérica de la matriz de sensitividades.
- 6.5 Problemas fuertemente no lineales.
- 6.6 Solución de problemas geofísicos no lineales, linealizables.

7 Métodos de optimización global (heurísticos)

Objetivo: El alumno aplicará métodos heurísticos que se utilizan para resolver problemas geofísicos multiparamétricos no lineales.

Contenido:

- 7.1 Optimización global contra optimización local.
- 7.2 Método de Monte Carlo.
- 7.3 Método de templado simulado (Simulated Annealing).
- 7.4 Algoritmos evolutivos.
- 7.5 Otras técnicas.
- 7.6 Solución de problemas geofísicos con métodos heurísticos.

Bibliografía básica

Temas para los que se recomienda:

COELLO COELLO, Carlos A., LAMONT, Gary B., VAN VELDHUIZEN, David A.

Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems

2, 5, 7

2nd edition

New York

Springer, 2007

MENKE, William

Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory

2, 3, 4, 5, 6

San Diego

Academic Press, 1989

SCALES, J. A., SMITH, M., TREITEL, S.

Introductory Geophysical Inverse Theory

2, 3, 4, 5, 6

Samizdat Press - Colorado School of Mines, 2004

SEN, Mrinal K., STOFFA, Paul L.

Global Optimization Methods in Geophysical Inversion

Todos

2nd edition

New York

Cambridge University Press, 2013

TARANTOLA, Albert

Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter

2, 3, 4, 5, 6

Estimation Philadelphia

Society for Industrial and Applied Mathematics, 2004

Bibliografía complementaria

Temas para los que se recomienda:

PARKER, Robert L.

Geophysical Inverse Theory

2, 3, 4, 5, 6

New Jersey

Princeton University Press, 1994

PINTÉR, János D.

Global Optimization: Scientific And Engineering Case Studies

Todos

Springer, 2006

SCHNEIDER, Johannes J., KIRKPATRICK, Scott

Stochastic Optimization

2, 5, 7

Berlin

Springer-Verlag, 2006

Sugerencias didácticas

Exposición oral	☒
Exposición audiovisual	☒
Ejercicios dentro de clase	☒
Ejercicios fuera del aula	☒
Seminarios	☒
Uso de software especializado	☒
Uso de plataformas educativas	☒

Lecturas obligatorias	☒
Trabajos de investigación	☒
Prácticas de taller o laboratorio	☐
Prácticas de campo	☐
Búsqueda especializada en internet	☒
Uso de redes sociales con fines académicos	☐

Forma de evaluar

Exámenes parciales	☒
Exámenes finales	☒
Trabajos y tareas fuera del aula	☒

Participación en clase	☐
Asistencia a prácticas	☐

Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura

Profesionales en el área de modelación de datos geofísicos con un fuerte antecedente en matemáticas aplicadas. De manera opcional se esperaría experiencia en cómputo y modelado de sistemas geofísicos.

FORMACIÓN ACADÉMICA:

Licenciatura en Ingeniería Geofísica, Física o Matemáticas, preferentemente con estudios de psgrado.

Profesionales con experiencia en adquisición e interpretación de datos geofísicos.

EXPERIENCIA PROFESIONAL:

Docencia e investigación.

Experiencia en adquisición, procesamiento e interpretación de datos geofísicos.

APTITUDES Y ACTITUDES:

Motivado hacia el proceso enseñanza-aprendizaje, alta capacidad de abstracción.