



Universidad Nacional de San Juan.
Argentina

GUÍA DOCENTE

CURSO DE POSGRADO

MODELIZACIÓN DEL APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO DE MINAS SUBTERRÁNEAS

Profesor responsable/coordinador: José Paulino Fernández Álvarez

Departamento de Prospección y Explotación de Minas.
Universidad de Oviedo. (España)

pauli@uniovi.es

Docente del curso: Ramón Díaz Noriega

Unidad de Modelización Hidrogeofísica y Ensayos No Destructivos.
Escuela Politécnica de Mieres.
Universidad de Oviedo.

ramon@hydrogeophysicsndt.com



Universidad de Oviedo

www.uniovi.es



Hydro-Geophysics
and NDT Modelling Unit

www.hydrogeophysicsndt.com

PRESENTACIÓN

El contexto energético mundial y las tecnologías actuales han abierto un nuevo campo de estudio dentro de la hidrogeología minera que apuesta por el uso de las minas subterráneas abandonadas e inundadas como yacimientos de recursos geotérmicos de muy baja entalpía.

La temperatura que alcanza el agua en dichas minas permite cubrir a bajo coste una parte importante de la demanda energética de la sociedad para la climatización de espacios y permite poner en valor el patrimonio minero.

Sin embargo, la complejidad de estos sistemas de flujo de agua subterránea y transporte de calor dificulta la evaluación del potencial geotérmico que albergan y su aprovechamiento de forma sostenible.

El estudio y caracterización geotérmica de minas subterráneas inundadas requiere metodologías para el uso adecuado de la información, el desarrollo de modelos conceptuales y el empleo de simuladores numéricos.

Los simuladores permiten la integración de datos, facilitan la comprensión y posibilitan la predicción del comportamiento de estos sistemas, con el fin de optimizar la gestión de sus recursos.

Este curso contextualiza este tipo de problemas haciendo uso de un caso real en una mina subterránea de carbón.

El alumnado adquirirá la capacitación básica para poder llevar a cabo un proyecto de caracterización y modelización geotérmica de una mina subterránea.

El aprendizaje del alumnado se llevará a cabo mediante clases expositivas de teoría con ejemplos, la realización de actividades prácticas y la presentación de aplicaciones reales que actualmente son materia de investigación a nivel mundial.

Las competencias adquiridas por el alumnado se concentran en los siguientes resultados de aprendizaje:

- Ser capaces de identificar los elementos esenciales en la caracterización de geotérmica de minas subterráneas.
- Comprender las implicaciones de manejar y analizar diferentes tipos de información necesaria para el desarrollo de modelos conceptuales.
- Comprender el desarrollo de modelos conceptuales de flujo de agua subterránea y transporte de calor.
- Comprender la implementación y evaluación de modelos geotérmicos de simulación numérica.
- Conocer la estructura de informes científicos y técnicos.

OBJETIVOS

OBJETIVOS PRINCIPALES DEL CURSO:

1. Proporcionar al alumnado los conocimientos de capacitación esenciales sobre la metodología y los procedimientos necesarios para desarrollar proyectos de caracterización y modelización geotérmica de minas subterráneas inundadas.
2. Mostrar las herramientas informáticas necesarias para la modelización del problema en el contexto de ejemplos prácticos y la presentación de un caso real.

Para alcanzar los objetivos principales del curso se plantean varios objetivos parciales vertebrados en los 3 bloques temáticos.

OBJETIVOS PARCIALES

Bloque Temático I

1. Introducir al alumnado en el conocimiento de las tipologías de recursos geotérmicos y las formas de captación.
2. Ofrecer una visión general del estado del conocimiento en el sector de la geotermia en agua de mina.

Bloque Temático II

1. Contextualizar y definir los ámbitos de estudio para familiarizar al alumnado con esta tipología de problemas.
2. Proporcionar los conceptos y los conocimientos básicos necesarios para comprender el problema de la explotación de los recursos geotérmicos de muy baja entalpía en minas subterráneas inundadas.
3. Exponer de manera ordenada las etapas generales de una modelización.

Bloque Temático III

1. Describir procedimientos para optimizar el uso de la información y ofrecer una selección de herramientas informáticas adecuadas a tales fines.
2. Fijar los pasos a seguir para el desarrollo de modelos conceptuales.
3. Contextualizar el estado de evolución de los modelos de simulación, los tipos de modelos y sus capacidades.
4. Dar a conocer los fundamentos matemáticos de los modelos de simulación deterministas y mostrar herramientas disponibles.
5. Introducir al alumnado en el manejo práctico del software de simulación FEFLOW.

CONTENIDOS

El programa docente del curso tiene los siguientes bloques temáticos.

Bloque Temático I

INTRODUCCIÓN A LA GEOTERMIA EN AGUA DE MINAS.

TEMA 1. LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS Y SU APROVECHAMIENTO.

- 1- Introducción a la geotermia.
- 2- Características de los recursos geotérmicos y clasificación.
- 3- Descripción de las diferentes tipologías de captaciones geotérmicas.
- 4- Descripción de las captaciones utilizadas en las minas subterráneas inundadas.

TEMA 2. LA EXPLOTACIÓN GEOTERMICA DE MINAS SUBTERRÁNEAS INUNDADAS.

- 1- Estado a nivel mundial.
- 2- Coyuntura energética, posibilidades y capacidades actuales.
- 3- Presentación de un caso real.
- 4- Retos y dificultades.

Bloque Temático II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN GEOTÉRMICA EN MINAS INUNDADAS.

TEMA 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS BÁSICOS.

- 1- Contextualización y ámbitos de estudio.
 - a. Minería subterránea.
 - b. Hidrogeología.
 - c. Geotermia.
- 2- Análisis descriptivo de los aspectos mineros.
 - a. Métodos de explotación minera subterránea.
 - b. Efectos sobre el medio rocoso circundante.
- 3- Exposición de los conceptos y fundamentos teóricos básicos de hidrogeología.
 - a. Movimiento del agua subterránea.
 - b. Ley de Darcy.
 - c. Parámetros hidrogeológicos de interés.
- 4- Exposición de los conceptos y fundamentos teóricos básicos de geotermia.
 - a. Nociones de Termodinámica.
 - b. Mecanismos de transferencia de calor.

- c. Ley de Fourier.
- d. Parámetros térmicos de interés.

TEMA 2. FUNDAMENTOS GENERALES DE MODELIZACIÓN.

- 1- Evolución histórica de la modelización.
- 2- Tipos de modelos.
- 3- Protocolos de modelización.
 - a. Descripción de etapas.
 - b. Descripción de procedimientos.
- 4- Aplicación de protocolos a la modelización geotérmica de minas.
- 5- Taller de introducción para la lectura crítica de artículos científicos.

Bloque Temático III

MODELIZACIÓN GEOTERMICA DE MINAS INUNDADAS.

TEMA 1. DESARROLLO DE MODELOS CONCEPTUALES.

- 1- Procedimientos de recopilación, clasificación, organización, de la información relevante para la caracterización de un sistema real.
 - a. Identificación y gestión de información para la caracterización hídrica y térmica.
 - b. Métodos de medición e interpretación de datos.
 - c. Herramientas informáticas para el tratamiento de información.
 - d. Métodos de procesado y almacenamiento.
- 2- Formulación de modelos conceptuales, criterios y procedimientos seguidos en un caso real.
 - a. Hipótesis conceptuales y simplificación del comportamiento del sistema.
 - b. Dominio espacial de modelización.
 - c. Condiciones de contorno del sistema.
 - d. Distribución de parámetros hidrogeológicos y térmicos del modelo.
 - e. Elementos del balance hídrico y térmico.

TEMA 2. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE SIMULACIÓN NUMÉRICA DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA Y TRANSPORTE DE CALOR.

- 1- Conceptos y términos básicos de modelización.
- 2- Modelos matemáticos generales que se aplican para describir la física de estos sistemas.
- 3- Posibilidades y limitaciones de los modelos deterministas de simulación numérica de flujo y transporte de calor en medio poroso para el estudio geotérmico de minas inundadas.
- 4- Presentación de algunos de los simuladores numéricos.

TEMA 3. INTRODUCCIÓN A LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN FEFLOW.

- 1- Presentación de la herramienta informática.
- 2- Descripción general del simulador, capacidades y limitaciones.
- 3- Prácticas de simulación:
 - a. Práctica 1- Iniciación al código de simulación FEFLOW.
 - b. Práctica 2- Manejo básico para la implementación de modelos.

TEMA 4. MODELIZACIÓN GEOTÉRMICA DE MINAS SUBTERRÁNEAS

- 1- Estrategias constructivas para modelos de simulación numérica de minas subterráneas.
- 2- Ejemplo de modelización de un caso real:
 - a. Definición del problema de simulación.
 - b. Implementación de geometrías
 - c. Implementación de condiciones de contorno, parámetros y elementos de estrés del sistema modelizado.
 - d. Ejecución de modelos.
 - e. Tipos de resultados y visualizaciones que ofrecen las simulaciones.
 - f. Documentación de las simulaciones.
- 3- Prácticas de simulación:
 - a. Práctica 3- Modelos de flujo de agua subterránea.
 - b. Práctica 4- Modelos de flujo y transporte de calor.

DESTINATARIOS Y METODO DE SELECCIÓN

El curso es presencial y está orientado a estudiantes, graduados, licenciados, ingenieros e investigadores de las ramas de geología, minería, geofísica o las ciencias de la tierra e interés en el campo de la geotermia y la modelización.

El curso no se requiere conocimientos previos específicos pero es recomendable tener conocimientos generales de física, matemáticas e informática.

El cupo de alumnos recomendado para la docencia del curso se fija entre 25 y 10 personas.

En caso de superarse el cupo de alumnos máximo, el método de selección será función de los méritos curriculares personales de cada alumno. El orden de prioridad lo establecerá la nota media del expediente académico y en caso de empate prevalecerá la nota del alumno con más méritos curriculares relacionados con la temática del curso.

EVALUACIÓN

Durante el transcurso del curso el alumnado deberá realizar las tareas personales que se plantearán durante las clases teóricas expositivas.

El alumnado llevará a cabo 4 sesiones de prácticas tutoradas grupales de las cuales deberán presentar un informe final de resultados.

Durante el curso se propondrán una serie de artículos científicos, de los cuales el alumnado deberá entregar un resumen en el cual se discutan de manera crítica las conclusiones obtenidas tras su lectura y análisis. Esta actividad consta de la lectura individual de los artículos y su posterior discusión grupal.

Durante la última sesión del curso el alumnado deberá realizar un examen teórico final donde se evaluarán los conocimientos teóricos expuestos durante el curso.

La calificación final sobre 10 puntos corresponde a la suma de la evaluación del examen teórico (60%), trabajo personal realizado en el aula e informe de prácticas (20%), lectura de artículos científicos y entrega de resumen crítico grupal (20%).

Las calificaciones serán presentadas en un plazo máximo de 15 días tras la finalización del curso.

MEDIOS MATERIALES

Se proveerá al alumnado de los siguientes recursos para la realización de las actividades propuestas:

- Referencias bibliográficas y artículos científicos.
- Versión demostrativa del código numérico de simulación.
- Archivos necesarios para la realización de las prácticas.

El curso requiere un aula con los siguientes medios para la docencia:

- Computadora personal, equipo de proyección y audio (Docente)
- Conexión a internet
- Computadoras personales (Alumnado).

Las computadoras personales necesarias para llevar a cabo la carga práctica del curso deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:

Sistema operativo: Windows 7 Professional Service Pack 1 (32 o 64 bit), Windows 8.1 Pro (64 bit)

Procesador: x86 o x64 2.2 GHz

Memoria (RAM): 2Gb

Disco duro: 40 Gb

Adaptador gráfico: 256 MB RAM 24 bit color real

Monitor: SVGA, resolución 1024x768

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

La duración total del curso es de 45 horas repartidas en 10 días de docencia.

Las clases tendrán una duración de 4.5 h/ día, distribuidas de lunes a viernes en horarios de mañana durante dos semanas (septiembre 2016) según se muestra en el siguiente cuadro:

SEMANA 1				
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
9:00-11:30 Presentación. Bloque I. Tema 1 11:30-12 Pausa 12-14 Bloque I. Tema 2	9:00-11:30 Bloque II. Tema 1 11:30-12 Pausa 12-14 Bloque II. Tema 1	9:00-11:30 Bloque II. Tema 1 11:30-12 Pausa 12-14 Bloque II. Tema 1	9:00-11:30 Bloque II. Tema 2 11:30-12 Pausa 12-14 Bloque II. Tema 2	9:00-11:30 Bloque III. Tema 2 11:30-12 Pausa 12-14 Bloque III. Tema 3
SEMANA 2				
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
9:00-11:30 Bloque III. Tema 3. Práctica 1 11:30-12 Pausa 12-14 Continuación	9:00-11:30 Bloque III. Tema 3. Práctica 2 11:30-12 Pausa 12-14 Continuación	9:00-11:30 Bloque III. Tema 4. 11:30-12 Pausa 12-14 Práctica 3	9:00-11:30 Bloque III. Tema 4. Práctica 4 11:30-12 Pausa 12-14 Continuación	9:00-11:30 Tutoría grupal. 11:30-12 Pausa 12-14 Examen Teórico final

Dada la carga lectiva del curso, se propone una distribución temporal de las clases expositivas en horario de mañana para que el alumnado pueda asimilar los conceptos de manera más adecuada y llevar a cabo las actividades propuestas.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Al-khoury, R. (2012). Computational Modeling of Shallow Geothermal Systems. In Multiphysics Modeling. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Anderson, M. P., & Woessner, W. W. (1991). Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. San Diego (California): Academic Press.
- Banks, D. (2012). An Introduction to Thermogeology : Ground Source Heating and Cooling (2nd Ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
- Bear, J. (1988). Dynamics of fluids in porous media. New York.
- Bear, J., & Cheng, A. H. D. (2010). Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport. In Theory and Applications of Transport in Porous Media. Haifa, Israel: Springer.
- Bredehoeft, C. J. D., Betzinski, P., Villanueva, C. C., G. de Marsily, Konoplyantsev, A. A. & Uzoma, J. U. (1982). Ground water models. Volume I. Concepts, problems, and methods of analysis with examples of their application (No. 34). Paris, Francia.
- Bundschuh, J., & Arriaga, M. C. S. (2010). Introduction to the Numerical Modeling of Groundwater and Geothermal Systems. Fundamentals of Mass, Energy and Solute Transport in Poroelastic Rocks. CRC Press.
- Custodio, E., & Llamas, R. (1976). Hidrología subterránea (2nd Ed.). Omega.
- Diersch, H. J. G. (2009). FEFLOW. Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System. Reference Manual. (D.-W. GmbH, Ed.). Berlin, Germany.
- Diersch, H.-J. G. (2014). FEFLOW. Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Springer.
- Fetter, C. W. (1994). Applied hydrogeology (3rd Ed.). New Jersey: Prentice-Hall.
- Fitts, C. (2002). Groundwater science. Amsterdam: Academic Press.
- Freeze, R.A. & Cherry, J. A. (1979). Groundwater. New Jersey: Prentice-Hall.
- Heise, F., & Herbst, F. (1945). Tratado de laboreo de minas. Tomo I. Editorial Labor.
- Kresic, N. (2006). Hydrogeology and groundwater modeling. CRC Press.
- Kresic, N. & Mikszewski, A. (2013). Hydrogeological Conceptual Site Models. Data Analysis and Visualization. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Martinez Alfaro, P.E., P. Martinez Santos, & S. Castaño. (2008). Fundamentos de hidrogeología. Mundi-Prensa.
- Pinder, G. F., & Celia, M. A. (2006). Subsurface Hydrology. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Price, M., & Back, W. (2002). Introducing groundwater (2nd Ed.). Nelson Thornes.
- Pulido Bosch, A. (2007). Nociones de hidrogeología para ambientólogos. Universidad de Almería.
- Rushton, K. R. (2003). Groundwater Hydrology. Conceptual and Computational models. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Stauffer, R., Bayer, P., Blum, P., Molina-Giraldo, N., & Kinzelbach-Stauffer, W. (2014). Thermal Use of Shallow Groundwater. Boca Ratón: CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Stober, I., & Bucher, K. (2013). Geothermal Energy. Springer.
- Wang, H. F., & Anderson, M. P. (1982). Introduction to groundwater modeling: finite difference and finite element methods. San Francisco: W.H. Freeman.
- Weight, W. D. (2008). Hydrogeology Field Manual (2nd Edition). New York: McGraw-Hill Professional Publishing.
- Wolkersdorfer, C. (2008). Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines. Fundamentals, Tracer Test, Modelling, Water treatment. (Mining and the Environment). Springer.
- Young, G. J. (1961). Elementos de minería. Barcelona-España: Editorial Gustavo Gili S.A.