



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN EXPLORACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Programa de Actividad Académica



Denominación: GEOQUÍMICA DE LA GEOTERMIA

Clave:	Semestre: 2	Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos		No. Créditos: 8	
Carácter: Obligatorio		Horas		Horas por semana	Horas por semestre:
Tipo: Teórico-práctico		Teoría:	Práctica:	4.0	64.0
		2.5	1.5		
Modalidad: Curso Teórico-práctico		Duración del programa: semestral			
Seriación: Sin Seriación (X) Obligatoria () Indicativa ()					
Actividad académica subsecuente: Ninguna					
Actividad académica antecedente: Ninguna					
Objetivo general: El alumno conocerá los tipos, composición, origen y distribución de los fluidos, así como el efecto de mezcla, ebullición y condensación para la composición del agua. A partir del entendimiento de la química de los fluidos geotérmicos, el alumno diferenciará las condiciones del yacimiento, comportamiento de gases y de isótopos en los sistemas geotérmicos y aplicará modelación geoquímica. Analizará los fenómenos de incrustación y corrosión, así como aspectos ambientales en las plantas geotérmicas					

Índice Temático

Unidad	Tema	Horas	
		Teóricas	Prácticas
1	Unidades usadas en geoquímica de fluidos geotérmicos	1.0	1.0
2	Características de sistemas geotérmicos	2.0	0.0
3	Coeficientes de actividad	2.0	0.0
4	Química del agua e interpretación	2.0	2.0
5	Papel del dióxido de carbono en los sistemas geotérmicos	2.0	0.0
6	Métodos de análisis geoquímico de fluidos geotérmicos	2.0	4.0
7	Geoquímica de gases	4.0	2.0
8	Isótopos en la exploración y desarrollo de campos geotérmicos	4.0	2.0
9	Geotermómetros	2.0	4.0
10	Equilibrio fluido-mineral: aplicaciones para evaluar y desarrollar un sistema geotérmico	2.0	1.0
11	Técnicas de exploración geoquímica	6.0	6.0
12	Geoquímica en la fase de exploración geotérmica	7.0	0.0
13	Casos de estudio con implicación ambiental	4.0	2.0
Total de horas:		40.0	24.0
Suma total de horas:		64.0	

Contenido Temático

Unidad	Tema y subtemas	
1	Unidades usadas en geoquímica de fluidos geotérmicos	
	1.1	Unidades de masa
	1.2	Unidades atómicas
	1.3	Concentración química líquidos y gases
2	Características de sistemas geotérmicos	
	2.1	Sistemas cíclicos
	2.2	Sistemas de almacenamiento
	2.3	Requisitos para la existencia de un sistema geotérmico
	2.4	Sistemas de diferentes ambientes geológicos
	2.4.1	Sistemas en terrenos volcánicos
	2.4.2	Sistemas en cuencas sedimentarias
	2.5	Tipos de agua
	2.5.1	Composición geoquímica
	2.5.2	Composición isotópica

3	Coeficientes de actividad	
	3.1	Ejemplos de aplicación de coeficientes de actividad
4	Química del agua e interpretación	
	4.1	Componentes en el agua geotérmica
	4.2	Balance iónico
	4.3	Experimentos de lixiviado
	4.4	Solubilidad de sólidos y reacciones en solución
	4.4.1	Comportamiento de diferentes componentes en solución: SiO ₂ , Na, K, Mg, Ca, B, Cl, F, NH ₃ , S, SO ₄ , Li, Rb, Cs, I, Metales traza (por ejemplo: Fe, Mn, Al, Cu, Pb)
	4.4.2	pH
	4.5	Interpretación de la química del agua
	4.6	Relaciones entre las componentes
	4.7	Presentación interpretativa de la química del agua
	4.7.1	Diagramas de Piper, Durov, Stiff
	4.7.2	Relaciones entre elementos
	4.7.3	Diagramas entalpia - cloruro
	4.7.4	Determinación de la composición del fluido a condiciones de yacimiento
5	Papel del dióxido de carbono en los sistemas geotérmicos	
	5.1	Problemas causados por el dióxido de carbono en el vapor
	5.2	Ciclo natural del dióxido de carbono
	5.3	Efecto del dióxido de carbono en el inicio del flujo bifásico
	5.4	Solubilidad del dióxido de carbono
	5.5	Dióxido de carbono en pozos y manantiales
	5.5.1	Dióxido de carbono en manantiales calientes naturales
	5.5.2	Dióxido de carbono en pozos calientes profundos
	5.5.3	Características de la descarga del dióxido de carbono con el tiempo
	5.5.4	Monóxido de carbono (CO) magmático
6	Métodos de análisis geoquímico de fluidos geotérmicos	
	6.1	Análisis de componentes mayores:
	6.1.1	Cloruro
	6.1.2	Boro
	6.1.3	Sulfato
	6.1.4	Sílice
	6.1.5	Dióxido de carbono en solución, bicarbonato y carbonato
	6.1.6	Sodio, potasio y magnesio
	6.2	Tratamiento del error de los análisis de laboratorio
	6.3	Ejemplo de reporte de laboratorio
	6.4	Espectrometría de absorción
7	Geoquímica de gases	
	7.1	Teoría
	7.2	Factores que controlan la composición del gas de una descarga de pozo
	7.3	Método de análisis de gases
	7.4	Cálculo del gas residual colectado
	7.5	Cálculo de la composición del total de gas colectado
	7.6	Gas total en la descarga
8	Isótopos en la exploración y desarrollo de campos geotérmicos	
	8.1	Componentes geotérmicos de origen superficial
	8.2	Isótopos radiactivos naturales para datación de agua
	8.3	Componentes geotérmicos de origen cortical
	8.4	Contribuciones del manto a los sistemas geotérmicos
	8.5	Uso de trazadores radiactivos en sistemas geotérmicos
	8.5.1	Medidas del flujo de agua
	8.5.2	Inyección de Trazadores
	8.6	Colección de muestras para análisis isotópico ambiental
	8.7	Separación de Yoduro a partir de aguas geotérmicas para conteo

9	Geotermómetros		
	9.1	Introducción	
	9.2	Geotermómetros químicos	
	9.2.1	Introducción	
	9.2.2	Geotermómetro de sílice	
	9.2.3	Geotermómetro Na/K	
	9.2.4	Geotermómetro Na-K-Ca	
	9.2.5	Geotermómetro de Na-K-Ca corrección por Mg	
	9.2.6	Geotermómetro Na/Li	
	9.2.7	Geotermómetro K-Mg	
	9.2.8	Geotermómetros de Isótopos de agua y sulfato: $\delta^{18}\text{O}$ ($\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$)	
	9.2.9	Geotermómetros de gases	
10	Equilibrio fluido-mineral: aplicaciones para evaluar y desarrollar un sistema geotérmico		
	10.1	Tipos de reacciones de mineral-fluido	
	10.2	Modelos de código abierto y comerciales	
11	Técnicas de exploración geoquímica		
	11.1	Introducción	
	11.2	Medición de gas en suelo	
	11.2.1	Radón	
	11.2.2	Helio	
	11.2.3	Dióxido de carbono	
	11.2.4	Azufre	
	11.3	Análisis de suelo	
	11.3.1	Mercurio	
	11.3.2	Arsénico	
	11.3.3	pH	
	11.3.4	Otros elementos	
12	Geoquímica en la fase de exploración geotérmica		
	12.1	Incrustación	
	12.2	Sílice	
	12.2.1	Consideraciones termodinámicas de la incrustación por Sílice	
	12.2.2	Temperatura de saturación del sílice	
	12.2.3	Aspectos cinéticos de la depositación del sílice	
	12.2.4	Depositación coloidal	
	12.2.5	Depositación directa	
	12.2.6	Tratamiento para detener la incrustación por sílice	
13	Casos de estudio con implicación ambiental:		
	13.1	Sistemas geotérmicos en México y otros países	
	13.2	Geoquímica de campos en exploración	
	13.2	Implicaciones ambientales en la geotermia	
Bibliografía Básica			
1	IGA. (2013). <i>Handbook of Geothermal Exploration Best Practices: A Guide to Resource Data Collection, Analysis, and Presentation for Geothermal Projects</i> . Editorial IGA Service GmbH.		
2	Kagel Alyssa, Diana Bates and Karl Gawell. <i>A guide to geothermal energy and the environment</i> . Washington, Geothermal Energy Association, April 2005. 75 p.		
3	Nicholson Keith. (2012). <i>Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques</i> . Editorial Springer-Verlag.		
4	Stober I. & Bucher K. (2013). <i>Geothermal Energy from Theoretical Models to Explorations and Development</i> . Editorial Springer.		
5	Truesdell A. H., Barton P. B. (1984). Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems. El Paso, TX. <i>Society of Economic Geologists</i> .		
Bibliografía Complementaria			
1	Geothermics. <i>Geotermia-</i> Revista Mexicana de Geoenergía.		
2	Giggenbach W.F. (1988). Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, <i>Geochim. Cosmochim. Acta</i> , 52 (12) (1988), pp. 2749-2765.		
3	Glassley W. E. (2015). <i>Geothermal Energy: Renewable Energy and the Environment</i> . (2 ed). Editorial Boca Raton.		
4	IFC/World Bank. 2007. Environmental, Health and Safety (EHS) Guidelines for Geothermal Power Generation. Retrieved from http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_GeothermalPowerGen/\$FILE/Final+-+Geothermal+Power+Generation.pdf .		

Sugerencias didácticas		Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos	
Exposición Oral	(X)	Exámenes parciales	(X)
Exposición audiovisual	(X)	Examen final escrito	(X)
Ejercicios dentro de clase	(X)	Trabajos y tareas fuera del aula	(X)
Ejercicios fuera del aula	(X)	Exposición de seminarios por los alumnos	(X)
Seminarios	()	Participación en clase	(X)
Lecturas Obligatorias	(X)	Asistencia	()
Prácticas de taller o laboratorio *	(X)	Seminario	()
Prácticas de campo *	()	Otras: Reportes de ejercicios y prácticas	(X)
Utilización de cómputo aplicables	(X)		
* Las prácticas de laboratorio y campo son			
requisitos sin valor en créditos			
Perfil profesiográfico			
Formación académica: Ingeniero Geólogo con amplia experiencia en procesos geoquímicos. Ingenierías afines a Ciencias de la Tierra con experiencia docente mínima de 2 años.			
Experiencia profesional: Ingeniero de campo e intérprete de datos con experiencia mínima de 2 años			
Especialidad: Geoquímica de fluidos.			
Conocimientos específicos: Geotermia.			
Aptitudes y actitudes: Promover en los alumnos el desarrollo de actividades aplicadas bajo el concepto de enseñanza-aprendizaje basada en proyectos de ingeniería. Además de propiciar el trabajo interdisciplinario			