



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

---

### PROYECTO DE ADICIÓN DEL CAMPO DE CONOCIMIENTO INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA, DEL CAMPO DISCIPLINARIO EXPLORACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS Y DEL PLAN DE ESTUDIOS DE LA ESPECIALIZACIÓN EN EXPLORACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS GEOTÉRMICOS EN EL PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

FECHA DE APROBACIÓN DEL COMITÉ ACADÉMICO DEL PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES EN INGENIERÍA: 7 DE MARZO DE 2018

FECHA DE APROBACIÓN DEL CONSEJO TÉCNICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA: 9 DE MAYO DE 2018

FECHA DE OPINIÓN DEL CONSEJO ACADÉMICO DE ÁREA DE LAS CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS Y DE LAS INGENIERÍAS: 5 DE FEBRERO DE 2020

FECHA DE OPINIÓN FAVORABLE DEL CONSEJO DE ESTUDIOS DE POSGRADO: 7 DE AGOSTO DE 2020

FECHA DE APROBACIÓN DEL H. CONSEJO UNIVERSITARIO: 10 DE DICIEMBRE DE 2020

## TOMO II

---



## ÍNDICE

Pág.

### **Obligatorio**

5

Geofísica de la Geotermia

7

Geología de la Geotermia

11

Geoquímica de la Geotermia

15

Seminario Práctica de Campo

19

Seminario de Casos de Estudio en Geotermia

21

### **Obligatorio de elección. Campo terminal Modelado**

23

Estadística Aplicada a la Geotermia

25

Introducción al Modelado de Yacimientos Geotérmicos

27

### **Obligatorio de elección. Campo terminal Exploración**

29

Hidrogeología Aplicada a la Geotermia

31

Sistemas de Información Geográfica para Geotermia

33

### **Optativo**

37

Adquisición de Información y Terminación de Pozos Geotérmicos

39

Gestión Económica, Ambiental y Social

41

Perforación en Geotermia

45

Usos Directos de la Geotermia

47



**FORMATO MODALIDAD PRESENCIAL**

**PLAN DE ESTUDIOS OBLIGATORIO**

**Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos**





**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: GEOFÍSICA DE LA GEOTERMIA**

|                                                               |             |                                                                                                                                          |           |                  |                     |
|---------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|
| Clave:                                                        | Semestre: 1 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>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 y ejecutará la metodología geofísica comúnmente aplicada en la exploración geotérmica para obtener las condiciones del subsuelo. Aplicará los conocimientos para correlacionar información geológica y anomalías geofísicas, así como propiedades físicas de las rocas para caracterizar la estructura del yacimiento.

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                                                             | Horas       |             |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                                                                  | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Bases de los métodos geofísicos                                  | 12.0        | 0.0         |
| 2                           | Métodos potenciales para el estudio de yacimientos geotérmicos   | 10.0        | 6.0         |
| 3                           | Métodos geoeléctricos para el estudio de yacimientos geotérmicos | 10.0        | 8.0         |
| 4                           | Métodos sísmicos para el estudio de yacimientos geotérmicos      | 6.0         | 4.0         |
| 5                           | Explotación y exploración geotérmica. Caso de estudio            | 2.0         | 6.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                                                  | <b>40.0</b> | <b>24.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                                                  | <b>64.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas                                                         |                                                        |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1      | <b>Bases de los métodos geofísicos</b>                                  |                                                        |
|        | 1.1                                                                     | Propiedades físicas de los sistemas geotérmicos        |
| 2      | <b>Métodos potenciales para el estudio de yacimientos geotérmicos</b>   |                                                        |
|        | 2.1                                                                     | Gravimetría                                            |
|        | 2.1.1                                                                   | Principio físico del método                            |
|        | 2.1.2                                                                   | Reducción de datos y modelación de datos gravimétricos |
|        | 2.1.3                                                                   | Interpretación de las anomalías gravimétricas          |
|        | 2.1.4                                                                   | Casos de estudio                                       |
|        | 2.2                                                                     | Magnetometría                                          |
|        | 2.2.1                                                                   | Principio físico del método                            |
|        | 2.2.2                                                                   | Reducción de datos y modelación de datos magnéticos    |
|        | 2.2.3                                                                   | Interpretación de anomalías magnéticas                 |
|        | 2.2.4                                                                   | Casos de estudio                                       |
| 3      | <b>Métodos geoeléctricos para el estudio de yacimientos geotérmicos</b> |                                                        |
|        | 3.1                                                                     | Resistividad eléctrica de corriente continua           |
|        | 3.1.1                                                                   | Principio físico del método                            |
|        | 3.1.2                                                                   | Procesado y modelación de datos de corriente continua  |
|        | 3.1.3                                                                   | Interpretación de anomalías de resistividad            |
|        | 3.1.4                                                                   | Casos de estudio                                       |

|                             |                                                                                                                                                                                                  |       |                                                                            |  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------|--|
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.2   | Potencial espontáneo                                                       |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.2.1 | Principio físico del método                                                |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.2.2 | Procesado y modelación de datos de potencial espontáneo                    |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.2.3 | Interpretación de anomalías de potencial espontáneo                        |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.2.4 | Casos de estudio                                                           |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.3   | Método magnetotelúrico                                                     |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.3.1 | Principio físico del método                                                |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.3.2 | Procesado y modelación de datos magnetotelúricos                           |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.3.3 | Interpretación de anomalías de resistividad                                |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.3.4 | Casos de estudio                                                           |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.4   | Transitorio electromagnético                                               |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.4.1 | Principio físico del método                                                |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.4.2 | Procesado y modelación de datos de transitorio electromagnético            |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.4.3 | Interpretación de anomalías de resistividad                                |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 3.4.4 | Casos de estudio                                                           |  |
| 4                           | Métodos sísmicos para el estudio de yacimientos geotérmicos                                                                                                                                      |       |                                                                            |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.1   | Sísmica de reflexión                                                       |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.1.1 | Principio físico del método                                                |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.1.2 | Procesado y modelación de datos sísmicos de reflexión                      |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.1.3 | Interpretación de datos sísmicos de reflexión                              |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.1.4 | Determinación de la geometría del yacimiento                               |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.2   | Sísmica pasiva                                                             |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.2.1 | Principio físico del método                                                |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.2.2 | Procesado y modelación de datos de sísmica pasiva                          |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.2.3 | Interpretación de datos de sísmica pasiva                                  |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 4.2.4 | Monitoreo de yacimientos                                                   |  |
| 5                           | Explotación y exploración geotérmica. Caso de estudio                                                                                                                                            |       |                                                                            |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 5.1   | Resumen de campos geotérmicos explotados                                   |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 5.2   | Resumen de exploración geotérmica y uso de registro de pozos               |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 5.3   | Registro de pozos geotérmicos                                              |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 5.3.1 | Introducción                                                               |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 5.3.2 | Terminología                                                               |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 5.3.3 | Herramientas de registro de pozo                                           |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 5.3.4 | Resultados de registro de pozos a partir de pozos térmicos                 |  |
|                             |                                                                                                                                                                                                  | 5.3.5 | Integración de datos geofísicos para el estudio de yacimientos geotérmicos |  |
| Bibliografía Básica         |                                                                                                                                                                                                  |       |                                                                            |  |
| 1                           | Aretouyap Z., Nouck P. N. & Nouayou R. (2016). A Discussion of Major Geophysical Methods used for Geothermal Exploration in Africa. <i>Renewable and Sustainable EnergyReviews</i> , 58, 775-781 |       |                                                                            |  |
| 2                           | Georgsson L. S. (2013). Geophysical Methods used in Geothermal Exploration. <i>UNU-GTP, GDC and KenGen, at Lake Bogoria and Lake Naivasha, Kenya</i> , Oct. 31 – Nov. 22, 2013.                  |       |                                                                            |  |
| 3                           | Kana J. D., Djongyang N., Raïdandi D., Nouck P. N. & Dadjé A. (2015). A Review of Geophysical Methods for Geothermal Exploration. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 44, 87-95.   |       |                                                                            |  |
| 4                           | 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.     |       |                                                                            |  |
| Bibliografía Complementaria |                                                                                                                                                                                                  |       |                                                                            |  |
| 1                           | Blakely R. J. (1996). <i>Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications</i> . Editorial Cambridge University Press.                                                                       |       |                                                                            |  |
| 2                           | Grant F.S. y West G.F. (1965). <i>Interpretation Theory in Applied Geophysic</i> . Editorial McGraw-Hill.                                                                                        |       |                                                                            |  |
| 3                           | Kaufman A.A. y Keller V.G. (1983). <i>Frequency and Transient Sounding</i> . Editorial Holland Elsevier Publishing Comp.                                                                         |       |                                                                            |  |
| 4                           | Telford W. M., Geldart L. P., Sheriff R.E. (1990). <i>Applied Geophysics</i> . (2 ed.). Editorial Cambridge University Press.                                                                    |       |                                                                            |  |



| 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                                                                                                                                                                                            | ( )   | Exposición de seminarios por los alumnos                | ( )   |
| Seminarios                                                                                                                                                                                                           | ( )   | Participación en clase                                  | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                                                                                | ( X ) | Asistencia                                              | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                  | ( X ) | Seminario                                               | ( )   |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                 | ( X ) | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                | ( X ) |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son                                                                                                                                                                           |       |                                                         |       |
| requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                                                                     |       |                                                         |       |
| <b>Perfil profesiográfico</b>                                                                                                                                                                                        |       |                                                         |       |
| Formación académica: Ingeniero Geofísico preferentemente con estudios de posgrado con experiencia docente mínima de 2 años.                                                                                          |       |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero de campo con experiencia mínima de 2 años en Geofísica de la Geotermia.                                                                                                           |       |                                                         |       |
| Especialidad: Adquisición, procesamiento e interpretación de datos.                                                                                                                                                  |       |                                                         |       |
| 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 |       |                                                         |       |





**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: GEOLOGÍA DE LA GEOTERMIA**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             |                                                                                                                                          |           |                  |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|
| Clave:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Semestre: 1 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>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 comprenderá los métodos geológicos y su aplicación para la identificación de un área geotérmica, incluyendo estructuras geológicas y manifestaciones superficiales. Identificará minerales comunes en los sistemas geotérmicos, tipo de alteración y su uso para entender el comportamiento del yacimiento. |             |                                                                                                                                          |           |                  |                     |

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                                                     | Horas       |             |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                                                          | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Sistema geotérmico y tectónica de placas                 | 2.0         | 0.0         |
| 2                           | Vulcanismo y sistemas geotérmicos                        | 8.0         | 0.0         |
| 3                           | Geología estructural, estructuras y sistemas geotérmicos | 4.0         | 4.0         |
| 4                           | Geohidrología y sistemas geotérmicos                     | 6.0         | 4.0         |
| 5                           | Procesos en reservorios                                  | 6.0         | 4.0         |
| 6                           | Alteración hidrotermal                                   | 4.0         | 6.0         |
| 7                           | Plays geotérmicos                                        | 4.0         | 2.0         |
| 8                           | Exploración geológica-geotérmica                         | 6.0         | 4.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                                          | <b>40.0</b> | <b>24.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                                          | <b>64.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas                                                 |                                                                            |
|--------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <b>Sistema geotérmico y tectónica de placas</b>                 |                                                                            |
|        | 1.1                                                             | Tectónica de placas                                                        |
|        | 1.2                                                             | Generalidades de la tectónica de placas                                    |
|        | 1.3                                                             | Geología de los límites de placas                                          |
|        | 1.4                                                             | Anomalía térmica                                                           |
| 2      | <b>Vulcanismo y sistemas geotérmicos</b>                        |                                                                            |
|        | 2.1                                                             | Magma y sus mecanismos de formación                                        |
|        | 2.2                                                             | Ascenso de magmas                                                          |
|        | 2.3                                                             | Estructuras volcánicas y sistemas geotérmicos                              |
|        | 2.3.1                                                           | Calderas                                                                   |
|        | 2.3.2                                                           | Domos                                                                      |
|        | 2.3.3                                                           | Estratovolcanes                                                            |
| 3      | <b>Geología estructural, estructuras y sistemas geotérmicos</b> |                                                                            |
|        | 3.1                                                             | Escenarios tectónicos y estructurales favorables para sistemas geotérmicos |
|        | 3.2                                                             | Fallas y fracturas                                                         |
|        | 3.3                                                             | Estructuras distensivas                                                    |
|        | 3.3.1                                                           | Rift                                                                       |
|        | 3.3.2                                                           | Graben                                                                     |
|        | 3.3.3                                                           | Zonas de transferencia                                                     |
|        | 3.4                                                             | Estructuras compresivas                                                    |
|        | 3.4.1                                                           | Cinturones orogénicos                                                      |

|                     |                                                                                                                                                                                              |                                                                              |  |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--|
| 4                   | Geohidrología y sistemas geotérmicos                                                                                                                                                         |                                                                              |  |
|                     | 4.1                                                                                                                                                                                          | Ciclo geohidrológico                                                         |  |
|                     | 4.2                                                                                                                                                                                          | Porosidad y permeabilidad                                                    |  |
|                     | 4.3                                                                                                                                                                                          | Tipo de acuíferos                                                            |  |
|                     | 4.4                                                                                                                                                                                          | Transmisión de fluidos y sus parámetros                                      |  |
|                     | 4.5                                                                                                                                                                                          | Características geohidrológicas en sistemas geotérmicos                      |  |
| 5                   | Procesos en reservorios                                                                                                                                                                      |                                                                              |  |
|                     | 5.1                                                                                                                                                                                          | Fluidos hidrotermales y sus características                                  |  |
|                     | 5.2                                                                                                                                                                                          | Concepto de alteración hidrotermal                                           |  |
|                     | 5.3                                                                                                                                                                                          | Procesos en reservorios                                                      |  |
|                     | 5.3.1                                                                                                                                                                                        | Disolución                                                                   |  |
|                     | 5.3.2                                                                                                                                                                                        | Lixiviación                                                                  |  |
|                     | 5.3.3                                                                                                                                                                                        | Reemplazamiento                                                              |  |
|                     | 5.3.4                                                                                                                                                                                        | Depositación directa                                                         |  |
|                     | 5.4                                                                                                                                                                                          | Tipo de fluido, procesos en el sistema (alteraciones y depósitos; sinter)    |  |
|                     | 5.5                                                                                                                                                                                          | Brechas hidrotermales (erupciones hidrotermales)                             |  |
|                     | 5.6                                                                                                                                                                                          | Procesos de mineralización                                                   |  |
| 6                   | Alteración hidrotermal                                                                                                                                                                       |                                                                              |  |
|                     | 6.1                                                                                                                                                                                          | Minerales de alteración                                                      |  |
|                     | 6.2                                                                                                                                                                                          | Ambientes de alteración y asociaciones minerales de alteración               |  |
|                     | 6.3                                                                                                                                                                                          | Estilos y asociaciones minerales de alteración                               |  |
|                     | 6.4                                                                                                                                                                                          | Datos del sistema geotérmica a partir de alteraciones hidrotermales          |  |
|                     | 6.4.1                                                                                                                                                                                        | Temperatura (geotermómetros minerales)                                       |  |
|                     | 6.4.2                                                                                                                                                                                        | Composición del fluido (pH, contenido relativo de gas, etc.)                 |  |
|                     | 6.4.3                                                                                                                                                                                        | Permeabilidad                                                                |  |
|                     | 6.4.4                                                                                                                                                                                        | Zonas de ebullición                                                          |  |
|                     | 6.4.5                                                                                                                                                                                        | Cambios en las condiciones y/o duración relativa de la actividad hidrotermal |  |
|                     | 6.5                                                                                                                                                                                          | Técnicas mineralógicas determinativas y descriptivas                         |  |
| 7                   | Plays geotérmicos                                                                                                                                                                            |                                                                              |  |
|                     | 7.1                                                                                                                                                                                          | Play                                                                         |  |
|                     | 7.2                                                                                                                                                                                          | Sistemas dominados por convección                                            |  |
|                     | 7.3                                                                                                                                                                                          | Sistemas dominados por conducción                                            |  |
| 8                   | Exploración geológica-geotérmica                                                                                                                                                             |                                                                              |  |
|                     | 8.1                                                                                                                                                                                          | Proyecto geotérmico                                                          |  |
|                     | 8.2                                                                                                                                                                                          | Riesgo                                                                       |  |
|                     | 8.3                                                                                                                                                                                          | Etapas y prácticas de exploración geotérmica                                 |  |
|                     | 8.4                                                                                                                                                                                          | Percepción remota                                                            |  |
|                     | 8.5                                                                                                                                                                                          | Cartografía geológica, reconstrucción de la estratigrafía regional y local   |  |
|                     | 8.6                                                                                                                                                                                          | Geocronología para la geotermia                                              |  |
|                     | 8.7                                                                                                                                                                                          | Mapeo de manifestaciones hidrotermales                                       |  |
|                     | 8.8                                                                                                                                                                                          | Correlación de pozos con información geológica                               |  |
|                     | 8.9                                                                                                                                                                                          | Microtermometría de inclusiones fluidas                                      |  |
|                     | 8.10                                                                                                                                                                                         | Modelos geológicos conceptuales                                              |  |
| Bibliografía Básica |                                                                                                                                                                                              |                                                                              |  |
| 1                   | Boden D. R. (2016). <i>Geologic Fundamentals of Geothermal Energy</i> . Editorial CRC Press.                                                                                                 |                                                                              |  |
| 2                   | Chandrasekharam D. & Bundschuh J. (2008). <i>Low-enthalpy Geothermal Resources for Power Generation</i> (Vol. 172). Editorial CRC Press.                                                     |                                                                              |  |
| 3                   | Harvey C., Beardsmore G., Moeck I., Rüter H. (2016). <i>Geothermal Exploration. Global Strategies and Applications</i> . Editorial IGA.                                                      |                                                                              |  |
| 4                   | Stober I. & Bucher K. (2013). <i>Geothermal Energy from Theoretical Models to Explorations and Development</i> . Editorial Springer.                                                         |                                                                              |  |
| 5                   | 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. |                                                                              |  |

| Bibliografía Complementaria                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| 1                                                                                                                                                                                                                    | Aguilera F., Layana S., Rodríguez-Díaz A., González C., Cortés J., & Inostroza M. (2016). Hydrothermal Alteration, Fumarolic Deposits and Fluids from Lastarria Volcanic Complex: A Multidisciplinary Study. <i>Andean Geology</i> , 43(2), 166-196.                                         |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                    | Aravena D., Muñoz M., Morata D., Lahsen A., Parada M. Á. & Dobson P. (2016). Assessment of High Enthalpy Geothermal Resources and Promising Areas of Chile. <i>Geothermics</i> , 59, 1-13.                                                                                                   |                                                         |       |
| 3                                                                                                                                                                                                                    | Browne P. R. L. (1978). Hydrothermal Alteration in active Geothermal Fields. <i>Annual Review of Earth and Planetary Sciences</i> . 6(1), 229-248.                                                                                                                                           |                                                         |       |
| 4                                                                                                                                                                                                                    | Faulds J. E., Hinz N. H., Dering G. M., & Siler D. L. (2013). The Hybrid Model—the most Accommodating Structural Setting for Geothermal Power Generation in the Great Basin, Western USA. <i>Geothermal Resources Council Transactions</i> , 37, 3-10.                                       |                                                         |       |
| 5                                                                                                                                                                                                                    | Finger J. & Blankenship D. (2010). <i>Handbook of Best Practices for Geothermal Drilling</i> . Editorial Sandia National Laboratories.                                                                                                                                                       |                                                         |       |
| 6                                                                                                                                                                                                                    | Moeck I. S. (2014). Catalog of Geothermal Play Types Based on Geologic Controls. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> . 37, 867-882.                                                                                                                                              |                                                         |       |
| 7                                                                                                                                                                                                                    | Pirajno F. (2009). <i>Hydrothermal Processes Associated with Meteorite Impacts</i> . Editorial Springer Netherlands.                                                                                                                                                                         |                                                         |       |
| 8                                                                                                                                                                                                                    | Pous J. & Jutglar Ll. (2004). <i>Energía geotérmica</i> . Editorial CEAC.                                                                                                                                                                                                                    |                                                         |       |
| 9                                                                                                                                                                                                                    | Roedder Edwin. (1984). <i>Fluid Inclusions: an Introduction to Studies of All Types of Fluid Inclusions, Gas, Liquid, Or Melt, Trapped In Materials From Earth and Space, and Their Application to the Understanding of Geologic Processes</i> . Editorial Mineralogical Society of America. |                                                         |       |
| 10                                                                                                                                                                                                                   | Santilano A., Manzella A., Gianelli G., Donato A., Gola G., Nardini I., ... & Botteghi S. (2015). Convective, Intrusive Geothermal plays: What About Tectonics?. <i>Geothermal Energy Science</i> , 3(1), 51.                                                                                |                                                         |       |
| 11                                                                                                                                                                                                                   | Ueckermann H.I. (2008). Geothermal Energy Research Trends. <i>Nova Science</i> 201p.                                                                                                                                                                                                         |                                                         |       |
| 12                                                                                                                                                                                                                   | Watson A. (2013). <i>Geothermal Engineering Fundamentals and Applications</i> . Editorial Springer.                                                                                                                                                                                          |                                                         |       |
| 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                                                                                                                                                                                            | ( )                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Exposición de seminarios por los alumnos                | ( )   |
| Seminarios                                                                                                                                                                                                           | ( )                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Participación en clase                                  | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                                                                                | ( X )                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Asistencia                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                             | ( X )                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Seminario                                               | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                  | ( X )                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                 | ( X )                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                | ( )                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Perfil profesiográfico                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Formación académica: Ingeniero Geólogo preferentemente con estudios de posgrado con experiencia docente mínima de 2 años.                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero de campo con experiencia mínima de 2 años en Geología de la Geotermia.                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Especialidad: Geotermia y/o Exploración de Yacimientos.                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Conocimientos específicos: Geología de la 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 |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                         |       |





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<br>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos |           | No. Créditos: 8  |
| Carácter: Obligatorio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |             | Horas                                                                                                                                    |           | Horas por semana |
| Tipo: Teórico-práctico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             | Teoría:                                                                                                                                  | Práctica: | 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         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                                                                          | <b>40.0</b> | <b>24.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                                                                          | <b>64.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad   | Tema y subtemas                                             |                                                        |
|----------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>Unidades usadas en geoquímica de fluidos geotérmicos</b> |                                                        |
|          | 1.1                                                         | Unidades de masa                                       |
|          | 1.2                                                         | Unidades atómicas                                      |
|          | 1.3                                                         | Concentración química líquidos y gases                 |
| <b>2</b> | <b>Características de sistemas geotérmicos</b>              |                                                        |
|          | 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                                  |

|          |                                                                      |                                                                                                                                                                                                         |
|----------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3</b> | <b>Coeficientes de actividad</b>                                     |                                                                                                                                                                                                         |
|          | 3.1                                                                  | Ejemplos de aplicación de coeficientes de actividad                                                                                                                                                     |
| <b>4</b> | <b>Química del agua e interpretación</b>                             |                                                                                                                                                                                                         |
|          | 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 <sub>2</sub> , Na, K, Mg, Ca, B, Cl, F, NH <sub>3</sub> , S, SO <sub>4</sub> , 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                                                                                                                                  |
| <b>5</b> | <b>Papel del dióxido de carbono en los sistemas geotérmicos</b>      |                                                                                                                                                                                                         |
|          | 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                                                                                                                                                                      |
| <b>6</b> | <b>Métodos de análisis geoquímico de fluidos geotérmicos</b>         |                                                                                                                                                                                                         |
|          | 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                                                                                                                                                                             |
| <b>7</b> | <b>Geoquímica de gases</b>                                           |                                                                                                                                                                                                         |
|          | 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                                                                                                                                                                                |
| <b>8</b> | <b>Isótopos en la exploración y desarrollo de campos geotérmicos</b> |                                                                                                                                                                                                         |
|          | 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 <a href="http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_GeothermalPowerGen/\$FILE/Final+-+Geothermal+Power+Generation.pdf">http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_GeothermalPowerGen/\$FILE/Final+-+Geothermal+Power+Generation.pdf</a> . |        |                                                                                                                 |

| 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                                                                                                                                                                                     |       |                                                         |       |
| <b>Perfil profesiográfico</b>                                                                                                                                                                                        |       |                                                         |       |
| 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 |       |                                                         |       |



**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: SEMINARIO PRÁCTICA DE CAMPO**

|               |                    |                                                                                                                                                        |                        |
|---------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Clave:</b> | <b>Semestre: 1</b> | <b>Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra</b><br><b>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos</b> | <b>No. Créditos: 6</b> |
|---------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|

|                              |                |                  |                         |                            |
|------------------------------|----------------|------------------|-------------------------|----------------------------|
| <b>Carácter: Obligatorio</b> | <b>Horas</b>   |                  | <b>Horas por semana</b> | <b>Horas por semestre:</b> |
| <b>Tipo: Seminario</b>       | <b>Teoría:</b> | <b>Práctica:</b> | <b>3.0</b>              | <b>48.0</b>                |
|                              | <b>1.0</b>     | <b>2.0</b>       |                         |                            |

**Modalidad: Curso Teórico-práctico**      **Duración del programa: semestral**

**Seriación: Sin Seriación ( X ) Obligatoria ( ) Indicativa ( )**

**Actividad académica subsecuente: Ninguna**

**Actividad académica antecedente: Ninguna**

**Objetivo general: Que el alumno aplique los conocimientos adquiridos en la toma de decisiones en la selección de técnicas a utilizar para la fase de exploración de un campo geotérmico y realice las actividades de reconocimiento del prospecto.**

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                   | Horas       |             |
|-----------------------------|------------------------|-------------|-------------|
|                             |                        | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Objetivo               | 1.0         | 0.0         |
| 2                           | Introducción           | 1.0         | 0.0         |
| 3                           | Métodos de exploración | 0.0         | 32.0        |
| 4                           | Análisis de resultados | 7.0         | 0.0         |
| 5                           | Reporte escrito        | 7.0         | 0.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                        | <b>16.0</b> | <b>32.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                        | <b>48.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas        |     |                                |                                                             |
|--------|------------------------|-----|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1      | Objetivo               |     |                                |                                                             |
| 2      | Introducción           |     |                                |                                                             |
|        |                        | 2.1 | Revisión de métodos geológicos |                                                             |
|        |                        | 2.2 | Revisión de métodos geofísicos |                                                             |
| 3      | Métodos de exploración |     |                                |                                                             |
|        |                        | 3.1 | Métodos geológicos             |                                                             |
|        |                        |     | 3.1.1                          | Mapeo de manifestaciones hidrotermales                      |
|        |                        |     | 3.1.2                          | Mapeo de estructuras                                        |
|        |                        |     | 3.1.3                          | Mapeo de afloramientos de volcanismo reciente               |
|        |                        |     | 3.1.4                          | Integración de resultados                                   |
|        |                        | 3.2 | Métodos geofísicos             |                                                             |
|        |                        |     | 3.2.1                          | Medición de campos potenciales: magnetometría y gravimetría |
|        |                        |     | 3.2.2                          | Medición de resistividad                                    |
|        |                        |     | 3.2.3                          | Procesamiento de datos                                      |
|        |                        |     | 3.2.4                          | Integración de resultados                                   |
| 4      | Análisis de resultados |     |                                |                                                             |
|        |                        |     | 4.2.1                          | Integración de la información geológica y geofísica         |
|        |                        |     | 4.2.2                          | Elaboración del modelo conceptual del sistema geotérmico    |
| 5      | Reporte escrito        |     |                                |                                                             |

**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. |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Bibliografía Complementaria**

|   |                                                                                         |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | La bibliografía complementaria será determinada en función de los contenidos temáticos. |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|

| Sugerencias didácticas                                                                                                                                                                                               |       | Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------|-------|
| Exposición Oral                                                                                                                                                                                                      | ( X ) | Exámenes parciales                                      | ( )   |
| Exposición audiovisual                                                                                                                                                                                               | ( X ) | Examen final escrito                                    | ( )   |
| Ejercicios dentro de clase                                                                                                                                                                                           | ( )   | 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                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                             | ( X ) | Seminario                                               | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                  | ( )   | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                 | ( X ) |                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                | ( )   |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son                                                                                                                                                                           |       |                                                         |       |
| requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                                                                     |       |                                                         |       |
| <b>Perfil profesiográfico</b>                                                                                                                                                                                        |       |                                                         |       |
| Formación académica: Ingeniero Geólogo, Geofísico, Mecánico y carreras afines preferentemente con Posgrado con experiencia docente mínima de 2 años.                                                                 |       |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero de campo con experiencia mínima de 2 años en Geotermia.                                                                                                                           |       |                                                         |       |
| Especialidad: Exploración geofísica/geológica.                                                                                                                                                                       |       |                                                         |       |
| 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 |       |                                                         |       |



**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: SEMINARIO DE CASOS DE ESTUDIO EN GEOTERMIA**

|                                                                                                                                                                                                           |             |                                                                                                                                          |           |                  |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|
| Clave:                                                                                                                                                                                                    | Semestre: 2 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos |           |                  | No. Créditos: 6     |
| Carácter: Obligatorio                                                                                                                                                                                     |             | Horas                                                                                                                                    |           | Horas por semana | Horas por semestre: |
| Tipo: Teórico-práctico                                                                                                                                                                                    |             | Teoría:                                                                                                                                  | Práctica: | 3.0              | 48.0                |
|                                                                                                                                                                                                           |             | 2.0                                                                                                                                      | 1.0       |                  |                     |
| Modalidad: Seminario                                                                                                                                                                                      |             | Duración del programa: semestral                                                                                                         |           |                  |                     |
| Seriación: Sin Seriación ( X ) Obligatoria ( ) Indicativa ( )                                                                                                                                             |             |                                                                                                                                          |           |                  |                     |
| Actividad académica subsecuente: Ninguna                                                                                                                                                                  |             |                                                                                                                                          |           |                  |                     |
| Actividad académica antecedente: Ninguna                                                                                                                                                                  |             |                                                                                                                                          |           |                  |                     |
| Objetivo general: El alumno desarrollará un proyecto de exploración geotérmica en donde aplique los elementos teórico-prácticos para realizar un trabajo final que le permita obtener el grado académico. |             |                                                                                                                                          |           |                  |                     |

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                         | Horas       |             |
|-----------------------------|------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                              | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Objetivo y conceptos básicos | 4.0         | 0.0         |
| 2                           | Antecedentes                 | 10.0        | 0.0         |
| 3                           | Metodología y análisis       | 4.0         | 8.0         |
| 4                           | Resultados                   | 4.0         | 6.0         |
| 5                           | Reporte escrito              | 10.0        | 2.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                              | <b>32.0</b> | <b>16.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                              | <b>48.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas                     |                                                                          |
|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <b>Objetivo y conceptos básicos</b> |                                                                          |
|        | 1.1                                 | Revisión de métodos geológicos aplicables al prospecto en investigación  |
|        | 1.2                                 | Revisión de métodos geofísicos aplicables al prospecto en investigación  |
|        | 1.3                                 | Revisión de métodos geoquímicos aplicables al prospecto en investigación |
| 2      | <b>Antecedentes</b>                 |                                                                          |
|        | 2.1                                 | Compilación de información geológica del prospecto                       |
|        | 2.2                                 | Compilación de información geofísica del prospecto                       |
|        | 2.3                                 | Compilación de información geoquímica del prospecto                      |
| 3      | <b>Metodología y análisis</b>       |                                                                          |
|        | 3.1                                 | Integración de la información del prospecto                              |
|        | 3.2                                 | Elaboración del modelo conceptual y/o numérico del sistema geotérmico    |
| 4      | <b>Resultados</b>                   |                                                                          |
|        | 4.1                                 | Determinación de los parámetros del yacimiento                           |
|        | 4.2                                 | Estimación del potencial del sistema geotérmico                          |
| 5      | <b>Reporte escrito</b>              |                                                                          |

**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. |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Bibliografía Complementaria**

|   |                                                                 |
|---|-----------------------------------------------------------------|
| 1 | Geothermics. <i>Geotermia- Revista Mexicana de Geoenergía</i> . |
|---|-----------------------------------------------------------------|

| Sugerencias didácticas                                                                                                                                                                                                |       | Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------|-------|
| Exposición Oral                                                                                                                                                                                                       | ( X ) | Exámenes parciales                                      | ( )   |
| Exposición audiovisual                                                                                                                                                                                                | ( X ) | Examen final escrito                                    | ( )   |
| Ejercicios dentro de clase                                                                                                                                                                                            | ( X ) | Trabajos y tareas fuera del aula                        | ( X ) |
| Ejercicios fuera del aula                                                                                                                                                                                             | ( )   | Exposición de seminarios por los alumnos                | ( X ) |
| Seminarios                                                                                                                                                                                                            | ( )   | Participación en clase                                  | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                                                                                 | ( )   | Asistencia                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                              | ( X ) | Seminario                                               | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                   | ( X ) | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                  | ( )   |                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                 | ( )   |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son                                                                                                                                                                            |       |                                                         |       |
| requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                                                                      |       |                                                         |       |
| <b>Perfil profesiográfico</b>                                                                                                                                                                                         |       |                                                         |       |
| Formación académica: Investigador o Profesor con el grado de Maestro o Doctor en el campo correspondiente, acreditado como tutor del Programa con experiencia docente mínima de 2 años.                               |       |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero de campo con experiencia mínima de 2 años en Geotermia.                                                                                                                            |       |                                                         |       |
| Especialidad: Geotermia y/o Exploración de Yacimientos.                                                                                                                                                               |       |                                                         |       |
| Conocimientos específicos: Geología de la 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. |       |                                                         |       |

**FORMATO MODALIDAD PRESENCIAL**

**PLAN DE ESTUDIOS OBLIGATORIO DE ELECCIÓN**

**CAMPO TERMINAL MODELADO**

**Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos**







**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: ESTADÍSTICA APLICADA A LA GEOTERMIA**

|                                                                                                                                                                                                          |             |                                                                                                                                                                    |           |                  |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|
| Clave:                                                                                                                                                                                                   | Semestre: 1 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos; Campo Terminal: Modelado |           |                  | No. Créditos: 6     |
| Carácter: Obligatorio de elección                                                                                                                                                                        |             | Horas                                                                                                                                                              |           | Horas por semana | Horas por semestre: |
| Tipo: Teórico-práctico                                                                                                                                                                                   |             | Teoría:                                                                                                                                                            | Práctica: | 3.0              | 48.0                |
|                                                                                                                                                                                                          |             | 2.0                                                                                                                                                                | 1.0       |                  |                     |
| 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 estudiante aplicará técnicas y elaborará modelos estadísticos para la resolución de problemas relacionados con las Ciencias de la Tierra, en particular en el área de la geotermia. |             |                                                                                                                                                                    |           |                  |                     |

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                                         | Horas       |             |
|-----------------------------|----------------------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                                              | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Fundamentos de la estadística                | 2.0         | 0.0         |
| 2                           | Descripción de la variación en los datos     | 3.0         | 0.0         |
| 3                           | Estadística descriptiva                      | 3.0         | 0.0         |
| 4                           | Probabilidad                                 | 3.0         | 0.0         |
| 5                           | Inferencia estadística                       | 4.0         | 2.0         |
| 6                           | Comparación de medias                        | 2.0         | 1.0         |
| 7                           | Tipos de distribuciones                      | 2.0         | 2.0         |
| 8                           | Estimaciones                                 | 2.0         | 1.0         |
| 9                           | Regresión lineal                             | 3.0         | 3.0         |
| 10                          | Introducción al análisis de varianza (ANOVA) | 4.0         | 2.0         |
| 11                          | Análisis de datos                            | 4.0         | 5.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                              | <b>32.0</b> | <b>16.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                              | <b>48.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas                                 |                                          |
|--------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1      | <b>Fundamentos de la estadística</b>            |                                          |
|        | 1.1                                             | Introducción a la estadística            |
|        | 1.2                                             | Conceptos básicos                        |
|        | 1.3                                             | Medidas y escalas de medición            |
|        | 1.4                                             | Estadística descriptiva e inferencial    |
| 2      | <b>Descripción de la variación en los datos</b> |                                          |
|        | 2.1                                             | Medición, tipos de variables             |
|        | 2.2                                             | Variación de mediciones                  |
| 3      | <b>Estadística descriptiva</b>                  |                                          |
|        | 3.1                                             | La distribución de frecuencia            |
|        | 3.2                                             | Medidas de tendencia central y variación |
|        | 3.3                                             | Medidas de dispersión                    |
| 4      | <b>Probabilidad</b>                             |                                          |
|        | 4.1                                             | Resumen sobre conjuntos                  |
|        | 4.2                                             | Principio de conteo                      |
|        | 4.3                                             | Permutación y combinación                |
| 5      | <b>Inferencia estadística</b>                   |                                          |
|        | 5.1                                             | Teoría del muestreo                      |
|        | 5.2                                             | Inferencia estadística                   |
|        | 5.3                                             | Intervalos de confianza                  |
|        | 5.4                                             | Intervalos de confianza                  |
|        | 5.5                                             | Pruebas de hipótesis                     |
| 6      | <b>Comparación de medias</b>                    |                                          |
|        | 6.1                                             | Contraste de medias                      |
|        | 6.2                                             | Análisis de varianza                     |

|                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| 7                                                                                                                                                                                                                     | Tipos de distribuciones                                                                                                                                                     |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 7.1                                                                                                                                                                         | Distribución binomial                                   |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 7.2                                                                                                                                                                         | Distribución de Poisson                                 |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 7.3                                                                                                                                                                         | Distribución normal                                     |       |
| 8                                                                                                                                                                                                                     | Estimaciones                                                                                                                                                                |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 8.1                                                                                                                                                                         | Introducción de estimadores                             |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 8.2                                                                                                                                                                         | Tipos de estimadores                                    |       |
| 9                                                                                                                                                                                                                     | Regresión Lineal                                                                                                                                                            |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 9.1                                                                                                                                                                         | Modelo de regresión lineal                              |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 9.2                                                                                                                                                                         | Correlación                                             |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 9.3                                                                                                                                                                         | Análisis de residuos                                    |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 9.4                                                                                                                                                                         | Inferencias relacionadas al modelo de regresión         |       |
| 10                                                                                                                                                                                                                    | Introducción al análisis de varianza (ANOVA)                                                                                                                                |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 10.1                                                                                                                                                                        | Aspectos generales del análisis de varianza             |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 10.2                                                                                                                                                                        | La tabla de ANOVA                                       |       |
| 11                                                                                                                                                                                                                    | Análisis de datos                                                                                                                                                           |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 11.1                                                                                                                                                                        | Análisis de regresión múltiple                          |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 11.2                                                                                                                                                                        | Análisis de datos categóricos                           |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 11.2                                                                                                                                                                        | Estadísticas no paramétricas                            |       |
| Bibliografía Básica                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Davis John C. (2008). <i>Statistics and Data Analysis in Geology</i> . (3 ed.). Editorial Wiley.                                                                            |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | Infante Gil S. y Zárate de Lara G. P. (1988). <i>Métodos Estadísticos: Un Enfoque Interdisciplinario</i> . Editorial Trillas.                                               |                                                         |       |
| 3                                                                                                                                                                                                                     | Mckillup S. y Dyar M. D. (2010). <i>Geostatistics Explained: An Introductory Guide for Earth Scientists</i> . Editorial Cambridge.                                          |                                                         |       |
| 4                                                                                                                                                                                                                     | Mendenhall W., Beaver R. J. y Beaver B. A. (2010). <i>Introducción a la Probabilidad y Estadística</i> . (13 ed.). Editorial Cenage Learning.                               |                                                         |       |
| 5                                                                                                                                                                                                                     | Sarma D. D. (2009). <i>Geostatistics with Applications In Earth Sciences</i> . (2 ed.). Editorial Springer.                                                                 |                                                         |       |
| 6                                                                                                                                                                                                                     | Schuenemeyer J. H. y Drew L. J. (2011). <i>Statistics for Earth and Environmental Scientists</i> . (1 ed.). Editorial Wiley.                                                |                                                         |       |
| 7                                                                                                                                                                                                                     | Wayne W Daniel. (2009). <i>Biostatistics: A Foundation for Analysis in the Health Science</i> . (9 ed.). Editorial Wiley.                                                   |                                                         |       |
| 8                                                                                                                                                                                                                     | Zar Jerrold H. (2010). <i>Biostatistical Analysis</i> . Editorial Pearson.                                                                                                  |                                                         |       |
| Bibliografía Complementaria                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Kleinbaum, David, (2008). <i>Applied regression analysis and other multivariable methods</i> . Editorial Thompson Broks.                                                    |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | PennState. Notas del curso: “Applied Statistics”. Referencia de <a href="https://onlinecourses.science.psu.edu/stat500/">https://onlinecourses.science.psu.edu/stat500/</a> |                                                         |       |
| 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                                                                                                                                                                                             | ( )                                                                                                                                                                         | Exposición de seminarios por los alumnos                | ( )   |
| Seminarios                                                                                                                                                                                                            | ( )                                                                                                                                                                         | Participación en clase                                  | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                                                                                 | ( X )                                                                                                                                                                       | Asistencia                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                              | ( )                                                                                                                                                                         | Seminario                                               | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                   | ( )                                                                                                                                                                         | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                  | ( )                                                                                                                                                                         |                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                 | ( X )                                                                                                                                                                       |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Perfil profesiográfico                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Formación académica: Matemáticas, Ingeniería Geofísica y carreras afines, preferentemente con Posgrado con experiencia docente mínima de 2 años.                                                                      |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero con experiencia mínima de 2 años en manejo e interpretación de datos.                                                                                                              |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Especialidad: Ciencias de la Tierra.                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Conocimientos específicos: Gestión de datos geocientíficos.                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| 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. |                                                                                                                                                                             |                                                         |       |



**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: INTRODUCCIÓN AL MODELADO DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS**

|                                                                                                                                                                                                                                                                          |             |                                                                                                                                                                    |           |                  |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|
| Clave:                                                                                                                                                                                                                                                                   | Semestre: 2 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos; Campo Terminal: Modelado |           | No. Créditos: 6  |                     |
| Carácter: Obligatorio de elección                                                                                                                                                                                                                                        |             | Horas                                                                                                                                                              |           | Horas por semana | Horas por semestre: |
| Tipo: Teórico-práctico                                                                                                                                                                                                                                                   |             | Teoría:                                                                                                                                                            | Práctica: | 3.0              | 48.0                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                          |             | 2.0                                                                                                                                                                | 1.0       |                  |                     |
| 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 utilizará las herramientas físico matemáticas necesarias para generar una representación espacial de los reservorios geotérmicos, así como simular el transporte de agua, vapor, gas no condensable y calor en medios porosos y fracturados. |             |                                                                                                                                                                    |           |                  |                     |

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                                                           | Horas       |             |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                                                                | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Conceptos de sistemas geotérmicos                              | 3.0         | 0.0         |
| 2                           | Modelos simples cuantitativos                                  | 4.0         | 2.0         |
| 3                           | Registros de pozos                                             | 3.0         | 0.0         |
| 4                           | Interpretación de registros de pozos                           | 3.0         | 3.0         |
| 5                           | Cuantificación de parámetros del yacimiento                    | 3.0         | 3.0         |
| 6                           | Modelado conceptual de yacimientos                             | 2.0         | 1.0         |
| 7                           | Etapas del modelado                                            | 3.0         | 0.0         |
| 8                           | Introducción al modelado computacional de sistemas geotérmicos | 3.0         | 3.0         |
| 9                           | Métodos de solución de ecuaciones                              | 4.0         | 2.0         |
| 10                          | Casos de estudio                                               | 4.0         | 2.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                                                | <b>32.0</b> | <b>16.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                                                | <b>48.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas                                    |                                                                                |
|--------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <b>Conceptos de sistemas geotérmicos</b>           |                                                                                |
|        | 1.1                                                | Sistemas conductivos                                                           |
|        | 1.2                                                | Sistemas convectivos líquido dominante                                         |
|        | 1.3                                                | Sistemas convectivos vapor dominante                                           |
|        | 1.4                                                | Cambios durante la explotación                                                 |
| 2      | <b>Modelos simples cuantitativos</b>               |                                                                                |
|        | 2.1                                                | Simplificaciones y conceptos de almacenamiento                                 |
|        | 2.2                                                | Modelos de presión transitoria                                                 |
|        | 2.3                                                | Fluido disponible                                                              |
|        | 2.4                                                | Energía disponible                                                             |
| 3      | <b>Registros de pozos</b>                          |                                                                                |
|        | 3.1                                                | Objetivos de un programa de pruebas de pozos                                   |
|        | 3.2                                                | Modelos de pozos                                                               |
|        | 3.3                                                | Instrumentos presión-temperatura                                               |
|        | 3.4                                                | Medición de flujo volumétrico en fondo de pozo                                 |
|        | 3.5                                                | Fuentes de error                                                               |
| 4      | <b>Interpretación de registros de pozos</b>        |                                                                                |
|        | 4.1                                                | Perfiles de pozos básicos                                                      |
|        | 4.2                                                | Casos especiales                                                               |
| 5      | <b>Cuantificación de parámetros del yacimiento</b> |                                                                                |
|        | 5.1                                                | Pruebas de inyectividad                                                        |
|        | 5.2                                                | Pozos de permeabilidad baja y alta                                             |
|        | 5.3                                                | Producción estimada                                                            |
| 6      | <b>Modelado conceptual de yacimientos</b>          |                                                                                |
|        | 6.1                                                | Definición de objetivos                                                        |
|        | 6.2                                                | Definición de topografía y zonas de descarga                                   |
|        | 6.3                                                | Definición de la geología                                                      |
|        | 6.4                                                | El yacimiento y sus fronteras                                                  |
|        | 6.5                                                | Direcciones de flujo                                                           |
|        | 6.6                                                | Balance de agua                                                                |
|        | 6.7                                                | Descripción del modelo                                                         |
|        | 6.8                                                | Modelado conceptual del yacimiento geotérmico de Cerro Prieto, Baja California |

|                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| 7                                                                                                                                                                                                                    | Etapas del modelado                                                                                                                                                          |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 7.1                                                                                                                                                                          | Modelo conceptual                                       |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 7.2                                                                                                                                                                          | Modelado de estado natural                              |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 7.3                                                                                                                                                                          | Ajuste histórico de producción                          |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 7.4                                                                                                                                                                          | Escenarios futuros                                      |       |
| 8                                                                                                                                                                                                                    | Introducción al modelado computacional de sistemas geotérmicos                                                                                                               |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 8.1                                                                                                                                                                          | Ecuaciones de gobierno                                  |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 8.2                                                                                                                                                                          | Ley de Darcy y potencial hidráulico                     |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 8.3                                                                                                                                                                          | Ecuación de momento                                     |       |
| 9                                                                                                                                                                                                                    | Métodos de solución de ecuaciones                                                                                                                                            |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 9.1                                                                                                                                                                          | Volumen finito                                          |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 9.2                                                                                                                                                                          | TOUGH2                                                  |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 9.3                                                                                                                                                                          | Datos de entrada                                        |       |
| 10                                                                                                                                                                                                                   | Casos de estudio                                                                                                                                                             |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                      | 10.1                                                                                                                                                                         | Desarrollo del modelo conceptual de un campo geotérmico |       |
| Bibliografía Básica                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                    | Berkowitz B. (2002). Characterizing Flow and Transport in Fractured Geological Media: A review. <i>Advances in Water Resources</i> 25, 861–884.                              |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                    | Grant M. A., Bixley P. F. (2011). <i>Geothermal Reservoir Engineering</i> . (2 ed.). Editorial Elsevier.                                                                     |                                                         |       |
| 3                                                                                                                                                                                                                    | Horne R. N. (1995). <i>Modern well test analysis: a Computer-aided Approach</i> . (2 ed.). Editorial Petro Way.                                                              |                                                         |       |
| 4                                                                                                                                                                                                                    | Ingebritsen S. E., Geiger S., Hurwitz S. & Driesner T. (2010). Numerical Simulation of Magmatic Hydrothermal Systems. <i>Reviews of Geophysics</i> 48, RG1002.               |                                                         |       |
| 5                                                                                                                                                                                                                    | Pruess K. (1991). <i>Tough2 – a General-Purpose Numerical Simulator for Multiphase Fluid and Heat Flow, Earth Science Division</i> . Editorial Lawrence Berkeley Laboratory. |                                                         |       |
| Bibliografía Complementaria                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                    | Bear J. (1979). <i>Hydraulics of Groundwater</i> . Editorial McGraw-Hill.                                                                                                    |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                    | Brassington F. C. & Younger P. L. (2009). A Proposed Framework for Hydrogeological Conceptual Modelling - <i>Water and Environment Journal</i> 24, 261–273.                  |                                                         |       |
| 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                                                                                                                                                                                            | ( )                                                                                                                                                                          | Exposición de seminarios por los alumnos                | ( )   |
| Seminarios                                                                                                                                                                                                           | ( )                                                                                                                                                                          | Participación en clase                                  | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                                                                                | ( X )                                                                                                                                                                        | Asistencia                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                             | ( X )                                                                                                                                                                        | Seminario                                               | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                  | ( X )                                                                                                                                                                        | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                 | ( )                                                                                                                                                                          |                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                | ( X )                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Perfil profesiográfico                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Formación académica: Matemáticas, Ingeniería Geofísica y carreras afines, preferentemente con Posgrado con experiencia docente mínima de 2 años.                                                                     |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero con experiencia mínima de 2 años en modelación de flujos subterráneos.                                                                                                            |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Especialidad: Geología y/o hidrogeología.                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| Conocimientos específicos: Sistemas geotérmicos.                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| 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 |                                                                                                                                                                              |                                                         |       |

**FORMATO MODALIDAD PRESENCIAL**

**PLAN DE ESTUDIOS OBLIGATORIO DE ELECCIÓN**

**CAMPO TERMINAL EXPLORACIÓN**

**Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos**





**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: HIDROGEOLOGÍA APLICADA A LA GEOTERMIA**

|                                                                                                                                              |             |                                                                                                                                                                       |           |                  |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|
| Clave:                                                                                                                                       | Semestre: 1 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos; Campo Terminal: Exploración |           |                  | No. Créditos:6      |
| Carácter: Obligatorio de elección                                                                                                            |             | Horas                                                                                                                                                                 |           | Horas por semana | Horas por semestre: |
| Tipo: Teórico-práctico                                                                                                                       |             | Teoría:                                                                                                                                                               | Práctica: | 3.0              | 48.0                |
|                                                                                                                                              |             | 2.0                                                                                                                                                                   | 1.0       |                  |                     |
| 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 estudiante aplicará los conceptos fundamentales empleados en el estudio de agua subterránea en el área de la Geotermia. |             |                                                                                                                                                                       |           |                  |                     |

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                                                            | Horas       |             |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                                                                 | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Introducción                                                    | 3.0         | 0.0         |
| 2                           | Flujo subterráneo                                               | 7.0         | 2.0         |
| 3                           | Parámetros hidrogeológicos                                      | 7.0         | 2.0         |
| 4                           | Prospección y exploración de las aguas subterráneas             | 6.0         | 3.0         |
| 5                           | Impacto en el medio ambiente de la explotación de los acuíferos | 6.0         | 3.0         |
| 6                           | Introducción a la modelación de acuíferos                       | 3.0         | 6.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                                                 | <b>32.0</b> | <b>16.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                                                 | <b>48.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas                                            |                                                                                                                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <b>Introducción</b>                                        |                                                                                                                                                                  |
|        | 1.1                                                        | Fases del ciclo hidrológico                                                                                                                                      |
|        | 1.2                                                        | Acuíferos en México                                                                                                                                              |
|        | 1.3                                                        | Disponibilidad de los acuíferos en México                                                                                                                        |
|        | 1.4                                                        | Normativa                                                                                                                                                        |
| 2      | <b>Flujo subterráneo</b>                                   |                                                                                                                                                                  |
|        | 2.1                                                        | Distribución del agua en el subsuelo                                                                                                                             |
|        | 2.2                                                        | Energía y carga hidráulica                                                                                                                                       |
|        | 2.3                                                        | Red de flujo                                                                                                                                                     |
|        | 2.4                                                        | Ley de Darcy y conductividad hidráulica                                                                                                                          |
|        | 2.5                                                        | Tipos de acuíferos                                                                                                                                               |
|        | 2.6                                                        | Transmisividad                                                                                                                                                   |
|        | 2.7                                                        | Coefficiente de almacenamiento                                                                                                                                   |
|        | 2.8                                                        | Flujo estacionario y transitorio                                                                                                                                 |
| 3      | <b>Parámetros hidrogeológicos</b>                          |                                                                                                                                                                  |
|        | 3.1                                                        | Densidad                                                                                                                                                         |
|        | 3.2                                                        | Viscosidad                                                                                                                                                       |
|        | 3.3                                                        | Tensión superficial y capilaridad                                                                                                                                |
|        | 3.4                                                        | Porosidad y porosidad efectiva                                                                                                                                   |
|        | 3.5                                                        | Tamaño de grano                                                                                                                                                  |
|        | 3.6                                                        | Permeabilidad                                                                                                                                                    |
|        | 3.7                                                        | Rocas fracturadas                                                                                                                                                |
|        | 3.8                                                        | Hidrogeoquímica de las aguas en yacimientos geotérmicos                                                                                                          |
| 4      | <b>Prospección y exploración de las aguas subterráneas</b> |                                                                                                                                                                  |
|        | 4.1                                                        | Búsqueda de información preliminar (geología, geofísica, climatología, socioeconómica, hidrológica, suelos, vegetación)                                          |
|        | 4.2                                                        | Métodos geológicos para la prospección y exploración de las aguas subterráneas                                                                                   |
|        | 4.3                                                        | Reconocimiento hidrogeológico: Identificación de zonas de recarga y descarga                                                                                     |
|        | 4.4                                                        | Muestreo y medición de aguas subterráneas: medición de la carga hidráulica con pozos y piezómetros y medición de la conductividad hidráulica (pruebas de bombeo) |

|                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------|
| 5                                                                                                                                                                                                                     | Impacto en el medio ambiente de la explotación de los acuíferos                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.1                                                                                                                                                                                                                                                        | Subsidencia del terreno                                      |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.2                                                                                                                                                                                                                                                        | Desaparición de manantiales y cuerpos de aguas superficiales |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.3                                                                                                                                                                                                                                                        | Fracturas hidrodinámicas                                     |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.4                                                                                                                                                                                                                                                        | Calidad y contaminación del agua                             |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.5                                                                                                                                                                                                                                                        | Afectación al ecosistema                                     |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.6                                                                                                                                                                                                                                                        | Casos de estudio en acuíferos de campos geotérmicos          |       |
| 6                                                                                                                                                                                                                     | Introducción a la modelación de acuíferos                                                                                                                                                                                                                  |                                                              |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 6.1                                                                                                                                                                                                                                                        | Introducción                                                 |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 6.2                                                                                                                                                                                                                                                        | Ecuaciones de estado                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 6.3                                                                                                                                                                                                                                                        | Proceso de modelación                                        |       |
| Bibliografía Básica                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Anderson MP, Woessner WW, Hunt RJ (2015). <i>Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport</i> . (2 ed.). Editorial Academic Press is an imprint of Elsevier.                                                                   |                                                              |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | Bear J., Cheng AHD. (2010). <i>Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport</i> . Editorial Springer, Prentice-Hall International.                                                                                                                  |                                                              |       |
| 3                                                                                                                                                                                                                     | Domenico P., Schwartz F. (1990). <i>Physical and Chemical Hydrogeology</i> . Editorial John Wiley.                                                                                                                                                         |                                                              |       |
| 4                                                                                                                                                                                                                     | Fetter C. (2000). <i>Applied Hydrogeology</i> . Editorial Prentice Hall.                                                                                                                                                                                   |                                                              |       |
| 5                                                                                                                                                                                                                     | Freze A.R., Cherry J.A. (1990). <i>Groundwater</i> . Editorial Prentice Hall.                                                                                                                                                                              |                                                              |       |
| 6                                                                                                                                                                                                                     | Thangarajan M. (2010). <i>Groundwater Resource Evaluation, Augmentation, Contamination, Restoration, Modeling and Management</i> , Springer. Editorial Dordrecht. e-book.                                                                                  |                                                              |       |
| Bibliografía Complementaria                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Kiryukhin A.V., Asaulova N.P., Vorozheikina L.A., Obora N.V., Voronin P.O., Kartasheva E.V. (2017). Recharge Conditions of the Low Temperature Paratunsky Geothermal Reservoir, Kamchatka, Rusia. <i>Procedia Earth and Planetary Science</i> 17, 132-135. |                                                              |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | Simsek S., Günay G., Elhatip H., Ekmekci M. (2000). Environmental Protection of Geothermal Waters and Travertines at Pamukkale.Turkey. <i>Geothermics</i> 29, 557-572.                                                                                     |                                                              |       |
| 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                                                                                                                                                                                             | ( )                                                                                                                                                                                                                                                        | Exposición de seminarios por los alumnos                     | ( )   |
| Seminarios                                                                                                                                                                                                            | ( )                                                                                                                                                                                                                                                        | Participación en clase                                       | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                                                                                 | ( X )                                                                                                                                                                                                                                                      | Asistencia                                                   | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                              | ( )                                                                                                                                                                                                                                                        | Seminario                                                    | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                   | ( X )                                                                                                                                                                                                                                                      | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas                    | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                  | ( )                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                              |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                 | ( )                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                              |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
| Perfil profesigráfico                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
| Formación académica: Ingeniero Geólogo preferentemente con Posgrado, carreras afines y con experiencia docente mínima de 2 años.                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero de campo con experiencia mínimo 2 años.                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
| Especialidad: Geología y/o hidrogeología.                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
| Conocimientos específicos: Hidrogeología y Sistemas geotérmicos hidrotermales.                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |
| 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. |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                              |       |





**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: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA GEOTERMIA**

|                                                                                                                                                                          |             |                                                                                                                                                                       |           |                  |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|
| Clave:                                                                                                                                                                   | Semestre: 2 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos; Campo Terminal: Exploración |           |                  | No. Créditos: 6     |
| Carácter: Obligatorio de elección                                                                                                                                        |             | Horas                                                                                                                                                                 |           | Horas por semana | Horas por semestre: |
| Tipo: Teórico-práctico                                                                                                                                                   |             | Teoría:                                                                                                                                                               | Práctica: | 3.0              | 48.0                |
|                                                                                                                                                                          |             | 2.0                                                                                                                                                                   | 1.0       |                  |                     |
| 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 y aplicará la teoría de los Sistemas de Información Geográfica, así como su implementación en el área de la Exploración Geotérmica. |             |                                                                                                                                                                       |           |                  |                     |

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                                                | Horas       |             |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                                                     | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | ¿Qué es un Sistema de Información Geográfica (SIG)? | 3.0         | 0.0         |
| 2                           | Cartografía y geodesia                              | 2.0         | 1.0         |
| 3                           | La naturaleza de la información geográfica          | 3.0         | 0.0         |
| 4                           | Modelos y estructuras de datos                      | 2.0         | 1.0         |
| 5                           | Ingreso de datos                                    | 2.0         | 1.0         |
| 6                           | Funciones de un SIG                                 | 3.0         | 1.0         |
| 7                           | Sistemas vectoriales                                | 2.0         | 1.0         |
| 8                           | Sistemas ráster                                     | 2.0         | 1.0         |
| 9                           | Análisis espacial                                   | 2.0         | 3.0         |
| 10                          | Base de datos                                       | 2.0         | 1.0         |
| 11                          | Aplicaciones a percepción remota (PR)               | 2.0         | 1.0         |
| 12                          | Modelo Digital del Terreno (MDT)                    | 2.0         | 1.0         |
| 13                          | Teoría del color                                    | 3.0         | 0.0         |
| 14                          | Aplicaciones a la geotermia                         | 2.0         | 4.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                                     | <b>32.0</b> | <b>16.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                                     | <b>48.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad   | Tema y subtemas                                            |                                                                                                  |
|----------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>¿Qué es un Sistema de Información Geográfica (SIG)?</b> |                                                                                                  |
|          | 1.1                                                        | Introducción                                                                                     |
|          | 1.2                                                        | Disciplinas y tecnologías relacionadas                                                           |
|          | 1.3                                                        | Principales áreas de aplicación                                                                  |
|          | 1.4                                                        | Representación de la realidad                                                                    |
|          | 1.5                                                        | Dato geográfico                                                                                  |
|          | 1.6                                                        | Escalas de medida                                                                                |
|          | 1.7                                                        | Fuentes de datos                                                                                 |
|          | 1.8                                                        | Modelos de datos                                                                                 |
| <b>2</b> | <b>Cartografía y geodesia</b>                              |                                                                                                  |
|          | 2.1                                                        | Sistemas coordenados                                                                             |
|          | 2.2                                                        | La tierra, sus dimensiones y su modelado                                                         |
|          | 2.3                                                        | Proyecciones cartográficas                                                                       |
|          | 2.4                                                        | Transformaciones geométricas                                                                     |
|          | 2.5                                                        | Georreferenciar                                                                                  |
| <b>3</b> | <b>La naturaleza de la información geográfica</b>          |                                                                                                  |
|          | 3.1                                                        | Los SIG como representación de la realidad geográfica: el proceso de modelado                    |
|          | 3.2                                                        | Componentes y estructura de la información geográfica y su modelado en los SIG: modelos de datos |
|          | 3.3                                                        | Los elementos                                                                                    |
|          | 3.4                                                        | La descripción espacial de las entidades                                                         |
|          | 3.5                                                        | Clases de entidades                                                                              |
|          | 3.6                                                        | La información sobre atributos                                                                   |

|           |                                              |                                                      |
|-----------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>4</b>  | <b>Modelos y estructuras de datos</b>        |                                                      |
|           | 4.1                                          | La organización de datos ráster                      |
|           | 4.2                                          | Las estructuras para datos vectoriales               |
| <b>5</b>  | <b>Ingreso de datos</b>                      |                                                      |
|           | 5.1                                          | Digitalización                                       |
|           | 5.2                                          | Scanners                                             |
|           | 5.3                                          | Conversión a partir de otras fuentes digitales       |
|           | 5.4                                          | Criterios para seleccionar modos de ingreso de datos |
|           | 5.5                                          | Rasterización y vectorización                        |
|           | 5.6                                          | Integración de diferentes fuentes de datos           |
|           | 5.7                                          | Errores y precisión                                  |
| <b>6</b>  | <b>Funciones de un SIG</b>                   |                                                      |
|           | 6.1                                          | Obtención de datos espaciales                        |
|           | 6.2                                          | Detección de errores y edición de datos              |
|           | 6.3                                          | Estructuración y reestructuración de los datos       |
|           | 6.4                                          | Funciones analíticas                                 |
|           | 6.5                                          | Visualización y representación                       |
| <b>7</b>  | <b>Sistemas vectoriales</b>                  |                                                      |
|           | 7.1                                          | Modelo de datos                                      |
|           | 7.2                                          | Representación de elementos geográficos. Topología   |
|           | 7.3                                          | Creación de la base de datos espacial                |
|           | 7.4                                          | Ejemplo de análisis utilizando un SIG vectorial      |
|           | 7.5                                          | Capacidades del SIG vectorial                        |
| <b>8</b>  | <b>Sistemas ráster</b>                       |                                                      |
|           | 8.1                                          | El modelo de datos                                   |
|           | 8.2                                          | Creación de un ráster                                |
|           | 8.3                                          | Ejemplo de análisis usando un SIG ráster             |
|           | 8.4                                          | Capacidades del SIG ráster                           |
| <b>9</b>  | <b>Análisis espacial</b>                     |                                                      |
|           | 9.1                                          | Introducción                                         |
|           | 9.2                                          | Construcción del modelo conceptual                   |
|           | 9.3                                          | Construcción del modelo lógico                       |
|           | 9.4                                          | Construcción del modelo físico                       |
|           | 9.5                                          | Modelos                                              |
|           | 9.6                                          | Evaluación multicriterio                             |
| <b>10</b> | <b>Base de datos</b>                         |                                                      |
|           | 10.1                                         | Concepto de bases de datos y sus modelos             |
|           | 10.2                                         | Consultas espaciales                                 |
| <b>11</b> | <b>Aplicaciones a Percepción Remota (PR)</b> |                                                      |
|           | 11.1                                         | Definición de PR                                     |
|           | 11.2                                         | Fundamentos de la PR                                 |
|           | 11.3                                         | Definición de sensor                                 |
|           | 11.4                                         | La naturaleza de la radiación                        |
|           | 11.5                                         | Espectro electromagnético                            |
|           | 11.6                                         | Procesos físicos de la radiación electromagnética    |
|           | 11.7                                         | Ventanas atmosféricas                                |
|           | 11.8                                         | Dispersión atmosférica                               |
|           | 11.9                                         | Radiación detectada por los sensores                 |
| <b>12</b> | <b>Modelo Digital del Terreno (MDT)</b>      |                                                      |
|           | 12.1                                         | Definiciones                                         |
|           | 12.2                                         | Tipo de MDT                                          |
|           | 12.3                                         | Generación de MDT                                    |
|           | 12.4                                         | Análisis de MDT                                      |
|           | 12.5                                         | Presentaciones                                       |
|           | 12.6                                         | Aplicaciones                                         |

|                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| 13                                                                                                                                                                                                                    | Teoría del color                                                                                                                                                                                               |                                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 13.1                                                                                                                                                                                                           | Historia del color                                                      |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 13.2                                                                                                                                                                                                           | El ojo y la visión                                                      |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 13.3                                                                                                                                                                                                           | El color luz                                                            |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 13.4                                                                                                                                                                                                           | El color pigmento                                                       |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 13.5                                                                                                                                                                                                           | Métrica del color: cromemas                                             |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 13.6                                                                                                                                                                                                           | Semántica del color                                                     |       |
| 14                                                                                                                                                                                                                    | Aplicaciones a la Geotermia                                                                                                                                                                                    |                                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 14.1                                                                                                                                                                                                           | Modelo conceptual de un yacimiento geotérmico                           |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 14.2                                                                                                                                                                                                           | Integración de información                                              |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 14.3                                                                                                                                                                                                           | Modelos basados en el conocimiento: Booleanos, regresión, álgebra fuzzy |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 14.4                                                                                                                                                                                                           | Modelos basados en datos: pesos de evidencia                            |       |
| Bibliografía Básica                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Bonham-Carter G. F. (1994). Geographic Information Systems for Geoscientists-Modeling with GIS. <i>Computer Methods in the Geoscientists</i> , 13, 398.                                                        |                                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | Korte G. (2001). <i>The GIS Book</i> . (5 ed. Rev.). Editorial Autodesk Press.                                                                                                                                 |                                                                         |       |
| 3                                                                                                                                                                                                                     | Worboys M.F. and Duckham M. . (2004). <i>GIS: A Computing Perspective</i> . (2 ed.). Editorial CRCPress.                                                                                                       |                                                                         |       |
| Bibliografía Complementaria                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Camara G.,Palomo D. and Souza R.C. (2005). Towards a Generalized Map Algebra: Principles and Data Types. <i>In Proceeding VII Simposio Brasileiro de GeoInformatica</i> .                                      |                                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | ESRI. (2002). Gis and Cad-the Right Tool for the Job. An ESRI Whitepaper. <i>Technical Report</i> .                                                                                                            |                                                                         |       |
| 3                                                                                                                                                                                                                     | Gómez Delgado, Bosque Sendra. (2004). Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de decisiones. <i>GeoFocus</i> , 4:179–208.                            |                                                                         |       |
| 4                                                                                                                                                                                                                     | Haining R. (2003). Spatial Data Analysis: Theory and Practice. <i>Cambridge UniversityPress</i> .                                                                                                              |                                                                         |       |
| 5                                                                                                                                                                                                                     | Van Oort Pepijn. (2005).Spatial Data Quality: from Description to Application. <i>Netherlands Geodetic Commission</i> .                                                                                        |                                                                         |       |
| 6                                                                                                                                                                                                                     | Xu Jun. (2007). Formalizing Natural-Language Spatial Relations Between Linear Objects with Topological and Metric Properties. <i>International Journal of Geographical Information Science</i> ,21(4):377–395. |                                                                         |       |
| 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                                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                              | ( )                                                                                                                                                                                                            | Seminario                                                               | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                   | ( X )                                                                                                                                                                                                          | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas                               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                  | ( )                                                                                                                                                                                                            |                                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                 | ( X )                                                                                                                                                                                                          |                                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |
| Perfil profesiográfico                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |
| Formación académica: Ingeniero Geólogo y carreras afines, preferentemente con posgrado con experiencia docente mínima de 2 años.                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero con experiencia mínima de 2 años en manejo de bases de datos.                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |
| Especialidad: Tecnologías de la información.                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |
| Conocimientos específicos: Geociencias.                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |
| 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. |                                                                                                                                                                                                                |                                                                         |       |



**FORMATO MODALIDAD PRESENCIAL**

**PLAN DE ESTUDIOS OPTATIVO**

**Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos**





**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: ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN Y TERMINACIÓN DE POZOS GEOTÉRMICOS**

|               |                    |                                                                                                                                                                                                |                        |
|---------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Clave:</b> | <b>Semestre: 2</b> | <b>Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra</b><br><b>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos; Campo Terminal: Modelado, Exploración.</b> | <b>No. Créditos: 4</b> |
|---------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|

|                               |                |                  |                         |                            |
|-------------------------------|----------------|------------------|-------------------------|----------------------------|
| <b>Carácter: Optativo</b>     | <b>Horas</b>   |                  | <b>Horas por semana</b> | <b>Horas por semestre:</b> |
| <b>Tipo: Teórico-práctico</b> | <b>Teoría:</b> | <b>Práctica:</b> | <b>2.0</b>              | <b>32.0</b>                |
|                               | <b>1.0</b>     | <b>1.0</b>       |                         |                            |

**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 estudiante conocerá y estará capacitado para elaborar el programa de terminación de un pozo geotérmico, sus tipos y aspectos relevantes.**

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                                         | Horas       |             |
|-----------------------------|----------------------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                                              | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Registros de pozos                           | 2.0         | 2.0         |
| 2                           | Terminación de pozos geotérmicos productores | 3.0         | 2.0         |
| 3                           | Terminación de pozos geotérmicos inyectores  | 3.0         | 2.0         |
| 4                           | Corrosión e incrustaciones                   | 4.0         | 2.0         |
| 5                           | Proceso de producción de pozos geotérmicos   | 2.0         | 4.0         |
| 6                           | Selección de materiales para la explotación  | 2.0         | 4.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                              | <b>16.0</b> | <b>16.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                              | <b>32.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas                                     |                                                               |
|--------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1      | <b>Registros de pozos</b>                           |                                                               |
|        | 1.1                                                 | Temperatura                                                   |
|        | 1.2                                                 | Presión                                                       |
|        | 1.3                                                 | Química                                                       |
|        | 1.4                                                 | Cables                                                        |
|        | 1.5                                                 | Herramientas de registro                                      |
| 2      | <b>Terminación de pozos geotérmicos productores</b> |                                                               |
|        | 2.1                                                 | Terminación en agujero descubierto                            |
|        | 2.2                                                 | Terminación con tubería corta ranurada                        |
|        | 2.3                                                 | Terminación con tubería corta ranurada y extensión de agujero |
|        | 2.4                                                 | Terminación bilateral                                         |
|        | 2.5                                                 | Cabezal de pozo y árbol de válvulas                           |
| 3      | <b>Terminación de pozos geotérmicos inyectores</b>  |                                                               |
|        | 3.1                                                 | Terminación en agujero descubierto                            |
|        | 3.2                                                 | Terminación con tubería corta ranurada                        |
|        | 3.3                                                 | Cabezales de pozos y válvulas requeridas                      |
| 4      | <b>Corrosión e incrustaciones</b>                   |                                                               |
|        | 4.1                                                 | Corrosión geotérmica                                          |
|        | 4.2                                                 | Tipos de corrosión                                            |
|        | 4.3                                                 | Reacciones de corrosión                                       |
|        | 4.4                                                 | Resistencia a la corrosión                                    |
|        | 4.5                                                 | Laboratorio de corrosión                                      |

|                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| 5                                                                                                                                                                                                                     | Proceso de producción de pozos geotérmicos                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.1                                                                                                                                                                                                                                    | Estimulación física de pozos geotérmicos                |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.2                                                                                                                                                                                                                                    | Estimulación química de pozos geotérmicos               |       |
| 6                                                                                                                                                                                                                     | Selección de materiales para la explotación                                                                                                                                                                                            |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 6.1                                                                                                                                                                                                                                    | Bombas de calor                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 6.2                                                                                                                                                                                                                                    | Turbinas de vapor                                       |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 6.3                                                                                                                                                                                                                                    | Condensador                                             |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 6.4                                                                                                                                                                                                                                    | Intercambiador de calor                                 |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 6.5                                                                                                                                                                                                                                    | Separadores                                             |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 6.6                                                                                                                                                                                                                                    | Torres de enfriamiento                                  |       |
| Bibliografía Básica                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Culver G. (1998). Drilling and Well Construction. In Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook, eds. P.J. Lienau and B.C. Lunis. Klamath Falls, OR: <i>Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology</i> , pp. 129–164. |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | Saito S. and Sakuma S. (2000). Frontier Geothermal Drilling Operations Succeed at 500°C BHST. <i>Journal of the Society of Petroleum Engineers Drilling and Completion</i> , 15, 152–161.                                              |                                                         |       |
| Bibliografía Complementaria                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Axelsson G. and Thóralsson S. (2009). Stimulation of Geothermal wells in Basaltic Rock in Iceland. <i>IPGT Nesjavellir Workshop</i> , May 11–12.                                                                                       |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | Sauceda Israel, Miranda Carlos. (2014). <i>Corrosión en tuberías de acero al carbono expuesto a fluido geotérmico</i> . Editorial Académica Española.                                                                                  |                                                         |       |
| 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                | ( )   |
| Seminarios                                                                                                                                                                                                            | ( X )                                                                                                                                                                                                                                  | Participación en clase                                  | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                                                                                 | ( )                                                                                                                                                                                                                                    | Asistencia                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                              | ( )                                                                                                                                                                                                                                    | Seminario                                               | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                   | ( X )                                                                                                                                                                                                                                  | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                  | ( )                                                                                                                                                                                                                                    |                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                 | ( )                                                                                                                                                                                                                                    |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Perfil profesiográfico                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Formación académica: Ingeniero Petrolero, preferentemente con estudios de posgrado y carreras afines con experiencia docente mínima de 2 años.                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Experiencia mínima de 2 años en pozo.                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Especialidad: Ingeniero de pozo con experiencia en operación de pozos geotérmicos.                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Conocimientos específicos: Geoquímica de la 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. |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |





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: GESTIÓN ECONÓMICA, AMBIENTAL Y SOCIAL**

|                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                                                                                                                                                                                  |           |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------|
| Clave:                                                                                                                                                                                                                                                         | Semestre: 2 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos. Campo Terminal: Modelado, Exploración. |           | No. Créditos: 6     |
| Carácter: Optativo                                                                                                                                                                                                                                             |             | Horas                                                                                                                                                                            |           | Horas por semestre: |
| Tipo: Teórico-práctico                                                                                                                                                                                                                                         |             | Teoría:                                                                                                                                                                          | Práctica: | 48.0                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                |             | 2.0                                                                                                                                                                              | 1.0       |                     |
| 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 estudiante conocerá y aplicará los aspectos económico-administrativos involucrados en la exploración geotérmica, así como la gestión integral del proyecto geotérmico involucrando: riesgo económico, social e impacto al medio ambiente. |             |                                                                                                                                                                                  |           |                     |

**Índice Temático**

| Unidad               | Tema                                                                                  | Horas    |           |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|
|                      |                                                                                       | Teóricas | Prácticas |
| 1                    | Uso y aspectos técnicos de la energía geotérmica                                      | 3.0      | 0.0       |
| 2                    | Costo de la energía geotérmica                                                        | 3.0      | 3.0       |
| 3                    | Costos de sistemas de calentamiento geotérmico                                        | 3.0      | 3.0       |
| 4                    | Requerimientos financieros y de mano de obra para perforación de exploración          | 4.0      | 2.0       |
| 5                    | Ingeniería económica                                                                  | 4.0      | 2.0       |
| 6                    | Riesgo económico involucrado en la energía geotérmica                                 | 4.0      | 2.0       |
| 7                    | Seguridad, protección y control en los proyectos geotérmicos                          | 2.0      | 1.0       |
| 8                    | Efectos ambientales del desarrollo geotérmico                                         | 3.0      | 1.0       |
| 9                    | Procesos de evaluación del impacto ambiental por el desarrollo de plantas geotérmicas | 3.0      | 1.0       |
| 10                   | Efectos sociales en el desarrollo geotérmico                                          | 3.0      | 1.0       |
| Total de horas:      |                                                                                       | 32.0     | 16.0      |
| Suma total de horas: |                                                                                       | 48.0     |           |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas                                         |                                                                                                    |
|--------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <b>Uso y aspectos técnicos de la energía geotérmica</b> |                                                                                                    |
|        | 1.1                                                     | Introducción                                                                                       |
|        | 1.1.1                                                   | Clasificación de uso                                                                               |
|        | 1.2                                                     | Estudios                                                                                           |
|        | 1.2.1                                                   | Alta temperatura(>180°)                                                                            |
|        | 1.2.2                                                   | Baja temperatura(<180°)                                                                            |
|        | 1.3                                                     | Uso                                                                                                |
|        | 1.3.1                                                   | Eléctrico                                                                                          |
|        | 1.3.2                                                   | No eléctrico                                                                                       |
|        | 1.3.3                                                   | Etapas de desarrollo de los proyectos geotérmicos                                                  |
| 2      | <b>Costo de la energía geotérmica</b>                   |                                                                                                    |
|        | 2.1                                                     | Economía de la energía                                                                             |
|        | 2.2                                                     | Nociones de economía básica (oferta, demanda, elasticidad)                                         |
|        | 2.3                                                     | Nociones de microeconomía (mercado básico de transacción de bienes, monopolios, oligopolios, etc.) |
|        | 2.4                                                     | La energía como producto de venta                                                                  |
|        | 2.4.1                                                   | Demanda                                                                                            |
|        | 2.4.2                                                   | Oferta                                                                                             |
|        | 2.4.3                                                   | Almacenamiento                                                                                     |
|        | 2.4.4                                                   | Redes eléctricas, revendedores, usuarios                                                           |

|          |                                                                                     |       |                                                                                  |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                     | 2.5   | Mercado de la geotermia                                                          |
|          |                                                                                     | 2.5.1 | Categorías de plantas generadoras y costo relativo                               |
|          |                                                                                     | 2.5.2 | Métodos alternativos de generación de energía y costo nivelado de energía (LCOE) |
|          |                                                                                     | 2.6   | Mercado energético en México                                                     |
|          |                                                                                     | 2.6.1 | Venta de la energía en México                                                    |
|          |                                                                                     | 2.6.2 | Regulaciones                                                                     |
|          |                                                                                     | 2.6.3 | El mercado de la geotermia en México                                             |
|          |                                                                                     | 2.6.4 | Efecto de la escala en cargos de inversión de capital para estaciones térmicas   |
|          |                                                                                     | 2.6.5 | Costo nivelado de energía para las estaciones de carga base                      |
| <b>3</b> | <b>Costos de sistemas de calentamiento geotérmico</b>                               |       |                                                                                  |
|          |                                                                                     | 3.1   | Fuente de calor geotérmico                                                       |
|          |                                                                                     | 3.2   | Taladros y perforación                                                           |
|          |                                                                                     | 3.3   | Distribución                                                                     |
|          |                                                                                     | 3.4   | Salas de máquinas                                                                |
|          |                                                                                     | 3.5   | Intercambiador de calor                                                          |
|          |                                                                                     | 3.6   | Componentes auxiliares                                                           |
|          |                                                                                     | 3.7   | Costos                                                                           |
|          |                                                                                     | 3.8   | Costos de operación                                                              |
| <b>4</b> | <b>Requerimientos financieros y de mano de obra para perforación de exploración</b> |       |                                                                                  |
|          |                                                                                     | 4.1   | Introducción                                                                     |
|          |                                                                                     | 4.2   | Logística                                                                        |
|          |                                                                                     | 4.3   | Grupo administrativo                                                             |
|          |                                                                                     | 4.3.1 | Asesoramiento y contabilidad                                                     |
|          |                                                                                     | 4.3.2 | Administración del trabajo                                                       |
|          |                                                                                     | 4.3.3 | Tamaño del grupo                                                                 |
|          |                                                                                     | 4.4   | Grupo de perforación e investigación                                             |
|          |                                                                                     | 4.4.1 | Objetivos                                                                        |
|          |                                                                                     | 4.4.2 | Actividades                                                                      |
|          |                                                                                     | 4.5   | Aspectos financieros de perforación de exploración                               |
|          |                                                                                     | 4.5.1 | Generalidades                                                                    |
|          |                                                                                     | 4.5.2 | Evaluación técnica                                                               |
|          |                                                                                     | 4.6   | Estimación del gasto justificable en investigación                               |
|          |                                                                                     | 4.6.1 | Generalidades                                                                    |
|          |                                                                                     | 4.6.2 | Ejercicio                                                                        |
|          |                                                                                     | 4.7   | Valor recibido del gasto de perforación de investigación                         |
|          |                                                                                     | 4.8   | Evaluación de riesgo                                                             |
| <b>5</b> | <b>Ingeniería económica</b>                                                         |       |                                                                                  |
|          |                                                                                     | 5.1   | Costos de la generación de energía geotérmica                                    |
|          |                                                                                     | 5.2   | Evaluación económica de la planta geotérmica                                     |
|          |                                                                                     | 5.2.1 | Costos, ganancias                                                                |
|          |                                                                                     | 5.2.2 | Hoja de balance                                                                  |
|          |                                                                                     | 5.2.3 | Valor presente neto                                                              |
|          |                                                                                     | 5.2.4 | Tasa interna de retorno                                                          |
|          |                                                                                     | 5.2.5 | Modelos de toma de decisión                                                      |
| <b>6</b> | <b>Riesgo económico involucrado en la energía geotérmica</b>                        |       |                                                                                  |
|          |                                                                                     | 6.1   | Introducción                                                                     |
|          |                                                                                     | 6.2   | Riesgo en las diferentes etapas de desarrollo                                    |
|          |                                                                                     | 6.2.1 | Determinación el riesgo en los estudios de prefactibilidad                       |
|          |                                                                                     | 6.2.2 | Medidas de mitigación del riesgo                                                 |
|          |                                                                                     | 6.3   | Identificación de un buen campo                                                  |
|          |                                                                                     | 6.4   | Consistencia del éxito de la perforación                                         |
|          |                                                                                     | 6.5   | Estrategia de perforación de exploración                                         |
|          |                                                                                     | 6.6   | Sobredimensionamiento (Oversizing)                                               |
|          |                                                                                     | 6.7   | Otros impedimentos                                                               |
| <b>7</b> | <b>Seguridad, protección y control en los proyectos geotérmicos</b>                 |       |                                                                                  |
|          |                                                                                     | 7.1   | Equipo                                                                           |
|          |                                                                                     | 7.2   | Personal                                                                         |

|                             |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                         |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8                           | Efectos ambientales del desarrollo geotérmico                                                                                                                                                                             |                                                                                                         |
|                             | 8.1                                                                                                                                                                                                                       | Introducción                                                                                            |
|                             | 8.2                                                                                                                                                                                                                       | Establecimiento de la Línea base                                                                        |
|                             | 8.3                                                                                                                                                                                                                       | Aspectos ambientales de la energía geotérmica                                                           |
|                             | 8.3.1                                                                                                                                                                                                                     | Efectos en acuíferos - reinyección                                                                      |
|                             | 8.3.2                                                                                                                                                                                                                     | Efectos en la calidad del aire                                                                          |
|                             | 8.3.3                                                                                                                                                                                                                     | Impacto del ruido durante construcción y explotación                                                    |
|                             | 8.3.4                                                                                                                                                                                                                     | Mitigación del impacto al ecosistema                                                                    |
|                             | 8.3.5                                                                                                                                                                                                                     | Elaboración de MIA                                                                                      |
| 9                           | Procesos de evaluación del impacto ambiental por el desarrollo de plantas geotérmicas                                                                                                                                     |                                                                                                         |
|                             | 9.1                                                                                                                                                                                                                       | Introducción                                                                                            |
|                             | 9.2                                                                                                                                                                                                                       | Legislación y otros requisitos relacionados a la acreditación de planes de energía para la construcción |
|                             | 9.2.1                                                                                                                                                                                                                     | Ley de conservación de agua y suelo                                                                     |
|                             | 9.2.2                                                                                                                                                                                                                     | Ley de energía geotérmica                                                                               |
|                             | 9.2.3                                                                                                                                                                                                                     | Ley de aire libre                                                                                       |
|                             | 9.2.4                                                                                                                                                                                                                     | Ley de planeación de la ciudad y del país                                                               |
|                             | 9.2.5                                                                                                                                                                                                                     | Protección ambiental y procedimientos de mejora                                                         |
|                             | 9.2.6                                                                                                                                                                                                                     | Acta de desarrollo ambiental                                                                            |
|                             | 9.3                                                                                                                                                                                                                       | Administración de la legislación ambiental                                                              |
|                             | 9.3.1                                                                                                                                                                                                                     | Problemas de administración: enfoque de los desarrolladores y de la comunidad                           |
|                             | 9.4                                                                                                                                                                                                                       | Evaluación del impacto ambiental                                                                        |
|                             | 9.5                                                                                                                                                                                                                       | Reportes del impacto ambiental                                                                          |
|                             | 9.5.1                                                                                                                                                                                                                     | Definición                                                                                              |
|                             | 9.5.2                                                                                                                                                                                                                     | Alcance del reporte de impacto ambiental                                                                |
|                             | 9.5.3                                                                                                                                                                                                                     | Control (Timing) del reporte de impacto ambiental                                                       |
|                             | 9.5.4                                                                                                                                                                                                                     | Formato de reporte de impacto ambiental                                                                 |
|                             | 9.6                                                                                                                                                                                                                       | Enfoque interdisciplinario para la evaluación ambiental                                                 |
|                             | 9.7                                                                                                                                                                                                                       | Aspectos sociales del impacto ambiental                                                                 |
| 10                          | Efectos sociales en el desarrollo geotérmico                                                                                                                                                                              |                                                                                                         |
|                             | 10.1                                                                                                                                                                                                                      | Desarrollo de la conciencia social sobre la energía geotérmica                                          |
|                             | 10.2                                                                                                                                                                                                                      | ¿Qué es una externalidad?                                                                               |
|                             | 10.2.1                                                                                                                                                                                                                    | Externalidades positivas del desarrollo de la energía geotérmica                                        |
|                             | 10.2.2                                                                                                                                                                                                                    | Externalidades negativas del desarrollo de la energía geotérmica                                        |
|                             | 10.2.3                                                                                                                                                                                                                    | Respuesta social a las externalidades                                                                   |
|                             | 10.2.4                                                                                                                                                                                                                    | Respuesta gubernamental y privada ante las externalidades                                               |
|                             | 10.2.5                                                                                                                                                                                                                    | Conflicto de intereses                                                                                  |
|                             | 10.2.6                                                                                                                                                                                                                    | Controles estatutarios en el desarrollo geotérmico                                                      |
|                             | 10.3                                                                                                                                                                                                                      | Evaluación de impacto social                                                                            |
|                             | 10.3.1                                                                                                                                                                                                                    | Desarrollo de encuestas para determinar el impacto social                                               |
|                             | 10.3.2                                                                                                                                                                                                                    | Determinación del riesgo social                                                                         |
|                             | 10.3.4                                                                                                                                                                                                                    | Mitigación del riesgo social                                                                            |
| Bibliografía Básica         |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                         |
| 1                           | Bhattacharyya S.C. (2011). <i>Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance</i> . Editorial Springer.                                                                                                        |                                                                                                         |
| 2                           | Brigham E., Houston L. (2012). <i>Fundamentals of Financial Management</i> . Editorial South-Western.                                                                                                                     |                                                                                                         |
| 3                           | Dipippo R. , (2012). <i>Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact</i> . (3 ed.). Editorial Elsevier.                                                                       |                                                                                                         |
| 4                           | Skippa k.J., Theodore L., (2014). Energy Resources, Availability, Management and Environmental Impacts. <i>Energy end the Environment Press</i> .                                                                         |                                                                                                         |
| 5                           | Tester J. (2012). <i>Sustainable Energy: Choosing Among Options</i> . Editorial MIT press.                                                                                                                                |                                                                                                         |
| Bibliografía Complementaria |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                         |
| 1                           | Combs, J. (2006). Financial Risk Management Instruments for Geothermal Energy Development Projects. <i>United Nations Environment Programme, Consultation Meeting on Climate Change Finance</i> , Working Group 3, 80 pp. |                                                                                                         |
| 2                           | Glassley W. E. (2015). <i>Geothermal Eneray. Renewable Eneray and the Environment</i> . (2 ed.). Editorial CRC Press.                                                                                                     |                                                                                                         |

| 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                                                                                                                                          | ( )   | Exposición de seminarios por los alumnos                | ( )   |
| Seminarios                                                                                                                                                         | ( )   | Participación en clase                                  | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                              | ( X ) | Asistencia                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                           | ( )   | Seminario                                               | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                | ( X ) | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                               | ( )   |                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                              | ( )   |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son                                                                                                                         |       |                                                         |       |
| requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                   |       |                                                         |       |
| <b>Perfil profesiográfico</b>                                                                                                                                      |       |                                                         |       |
| Formación académica: Ingenierías en Ciencias de la Tierra preferentemente con posgrado con experiencia docente mínima de 2 años.                                   |       |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero de campo con experiencia mínima de 2 años en Evaluación de proyectos.                                                           |       |                                                         |       |
| Especialidad: Economía.                                                                                                                                            |       |                                                         |       |
| Conocimientos específicos: Modelos económicos, finanzas, Gestión integral.                                                                                         |       |                                                         |       |
| 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.                                                                                                                 |       |                                                         |       |



**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: PERFORACIÓN EN GEOTERMIA**

|                                                                                                                                                                                                                                      |             |                                                                                                                                                                                   |           |                  |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|
| Clave:                                                                                                                                                                                                                               | Semestre: 2 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos<br>Campo Terminal: Modelado, Exploración |           |                  | No. Créditos: 4     |
| Carácter: Optativo                                                                                                                                                                                                                   |             | Horas                                                                                                                                                                             |           | Horas por semana | Horas por semestre: |
| Tipo: Teórico-práctico                                                                                                                                                                                                               |             | Teoría:                                                                                                                                                                           | Práctica: | 2.0              | 32.0                |
|                                                                                                                                                                                                                                      |             | 1.0                                                                                                                                                                               | 1.0       |                  |                     |
| 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 estudiante conocerá el equipo y etapas de perforación de pozos geotérmicos, así como el diseño de pozos. Será capaz de elegir materiales y procesos necesarios para el buen funcionamiento del pozo geotérmico. |             |                                                                                                                                                                                   |           |                  |                     |

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                                                               | Horas       |             |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                                                                    | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Equipo de perforación y sus componentes principales                | 5.0         | 2.0         |
| 2                           | Diseño de pozos geotérmicos                                        | 3.0         | 4.0         |
| 3                           | Geología de pozos                                                  | 1.0         | 3.0         |
| 4                           | Registros de pozo                                                  | 1.0         | 3.0         |
| 5                           | Propiedades de los materiales en los pozos de sistemas geotérmicos | 6.0         | 4.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                                                    | <b>16.0</b> | <b>16.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                                                    | <b>32.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad   | Tema y subtemas                                            |                                                  |
|----------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>Equipo de perforación y sus componentes principales</b> |                                                  |
|          | 1.1                                                        | Equipo de perforación y sus sistemas principales |
|          | 1.1.1                                                      | Sistema de energía                               |
|          | 1.1.2                                                      | Sistema de izaje                                 |
|          | 1.1.3                                                      | Sistema de circulación                           |
|          | 1.1.4                                                      | Sistema de rotación                              |
|          | 1.1.5                                                      | Sistema de control                               |
|          | 1.1.6                                                      | Sistema de medición                              |
|          | 1.2                                                        | Personal en un equipo de perforación             |
|          | 1.3                                                        | Herramientas en perforación                      |
|          | 1.3.1                                                      | Barrenas                                         |
|          | 1.3.2                                                      | Motor de fondo                                   |
|          | 1.3.3                                                      | Tuberías de revestimiento                        |
|          | 1.4                                                        | Fluidos de Perforación                           |
| <b>2</b> | <b>Diseño de pozos geotérmicos</b>                         |                                                  |
|          | 2.1                                                        | Diseño de tuberías de revestimiento              |
|          | 2.1.1                                                      | Evaluación y análisis de geopresiones            |
|          | 2.1.2                                                      | Asentamiento de tuberías de revestimiento        |
|          | 2.1.3                                                      | Propiedades de las tuberías                      |
|          | 2.1.4                                                      | Diseño axial de tuberías de revestimiento        |
|          | 2.1.5                                                      | Diseño biaxial de tuberías de revestimiento      |
|          | 2.1.6                                                      | Diseño triaxial de tuberías de revestimiento     |
|          | 2.2                                                        | Cementaciones                                    |
| <b>3</b> | <b>Geología de pozos</b>                                   |                                                  |
|          | 3.1                                                        | Estratigrafía                                    |
|          | 3.2                                                        | Litología                                        |
| <b>4</b> | <b>Registros de pozo</b>                                   |                                                  |
|          | 4.1                                                        | Introducción                                     |
|          | 4.2                                                        | Ambiente geotérmico de registro de pozo          |
|          | 4.2.1                                                      | Herramientas de registro                         |

|                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| 5                                                                                                                                                                                                                     | Propiedades de los materiales en los pozos de sistemas geotérmicos                                                                                                                                                                     |                                                         |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.1                                                                                                                                                                                                                                    | Metales puros                                           |       |
|                                                                                                                                                                                                                       | 5.2                                                                                                                                                                                                                                    | Aleaciones                                              |       |
| Bibliografía Básica                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Culver G. (1998). Drilling and Well Construction. In Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook, eds. P.J. Lienau and B.C. Lunis. Klamath Falls. OR: Geo-Heat Center, <i>Oregon Institute of Technology</i> , pp. 129–164. |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | Finger J. & Blankenship D. (2010). <i>Handbook of Best Practices for Geothermal Drilling</i> . Editorial Sandia National Laboratories.                                                                                                 |                                                         |       |
| 3                                                                                                                                                                                                                     | Saito S. and Sakuma S. (2000). Frontier Geothermal Drilling Operations Succeed at 500°C BHST. <i>Journal of the Society of Petroleum Engineers Drilling and Completion</i> , 15, 152–161.                                              |                                                         |       |
| Bibliografía Complementaria                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Axelsson G. and Thórallsson S. (2009). Stimulation of Geothermal Wells in Basaltic Rock in Iceland. <i>IPGT Nesjavellir Workshop</i> , May 11–12.                                                                                      |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | López Jimeno Carlos (2014). <i>Manual de perforación y voladuras de rocas</i> . (2da. ed.). Serie: Tecnología y Seguridad Minera. Editorial Instituto Tecnológico GeoMinero de España.                                                 |                                                         |       |
| 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                                                                                                                                                                                             | ( )                                                                                                                                                                                                                                    | Exposición de seminarios por los alumnos                | ( X ) |
| Seminarios                                                                                                                                                                                                            | ( )                                                                                                                                                                                                                                    | Participación en clase                                  | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                                                                                 | ( X )                                                                                                                                                                                                                                  | Asistencia                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                              | ( )                                                                                                                                                                                                                                    | Seminario                                               | ( )   |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                   | ( X )                                                                                                                                                                                                                                  | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                  | ( )                                                                                                                                                                                                                                    |                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                 | ( )                                                                                                                                                                                                                                    |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Perfil profesiográfico                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Formación académica: Ingeniero Petrolero con experiencia en Perforación de pozos, preferentemente con estudios de Posgrado, carreras afines y con experiencia docente mínima de 2 años.                               |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Experiencia mínima de dos años en perforación y gestión de pozos.                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Especialidad: Ingeniero de pozo.                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |
| Conocimientos específicos: Perforación y 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. |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                         |       |



**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: USOS DIRECTOS DE LA GEOTERMIA**

|                                                                                                                                                                                                                                                  |             |                                                                                                                                                                                   |           |                  |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|
| Clave:                                                                                                                                                                                                                                           | Semestre: 2 | Campo de Conocimiento: Ingeniería en Ciencias de la Tierra<br>Campo Disciplinario: Exploración y Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos<br>Campo Terminal: Modelado, Exploración |           |                  | No. Créditos: 6     |
| Carácter: Optativo                                                                                                                                                                                                                               |             | Horas                                                                                                                                                                             |           | Horas por semana | Horas por semestre: |
| Tipo: Teórico-práctico                                                                                                                                                                                                                           |             | Teoría:                                                                                                                                                                           | Práctica: | 3.0              | 48.0                |
|                                                                                                                                                                                                                                                  |             | 2.0                                                                                                                                                                               | 1.0       |                  |                     |
| 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 estudiante conocerá los usos directos de la Geotermia, las fases de un proyecto de usos directos. Al finalizar el curso será capaz de realizar un análisis de factibilidad técnico-económico de proyectos de usos directos. |             |                                                                                                                                                                                   |           |                  |                     |

**Índice Temático**

| Unidad                      | Tema                                                                     | Horas       |             |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                             |                                                                          | Teóricas    | Prácticas   |
| 1                           | Fases de un proyecto de usos directos                                    | 4.0         | 2.0         |
| 2                           | Acondicionamiento de espacios                                            | 7.0         | 2.0         |
| 3                           | Aplicaciones                                                             | 5.0         | 4.0         |
| 4                           | Análisis de factibilidad técnica económica de proyectos de usos directos | 5.0         | 4.0         |
| 5                           | Dirección de proyectos de usos directos                                  | 7.0         | 2.0         |
| 6                           | Costo de los proyectos de usos directos                                  | 4.0         | 2.0         |
| <b>Total de horas:</b>      |                                                                          | <b>32.0</b> | <b>16.0</b> |
| <b>Suma total de horas:</b> |                                                                          | <b>48.0</b> |             |

**Contenido Temático**

| Unidad | Tema y subtemas                                                                 |                                                                   |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1      | <b>Fases de un proyecto de usos directos</b>                                    |                                                                   |
|        | 1.1                                                                             | Cálculo de potencial geotérmico en el área del proyecto propuesta |
|        | 1.2                                                                             | Aspectos legales y regulatorios                                   |
|        | 1.3                                                                             | Aspectos ambientales y sociales                                   |
|        | 1.4                                                                             | Logística del desarrollo del proyecto de usos directos            |
|        | 1.5                                                                             | Estimación de costos del proyecto                                 |
|        | 1.6                                                                             | Ingeniería y construcción                                         |
|        | 1.7                                                                             | Mercado y clientes potenciales                                    |
| 2      | <b>Acondicionamiento de espacios</b>                                            |                                                                   |
|        | 2.1                                                                             | Bombas de calor geotérmicas                                       |
|        | 2.2                                                                             | Calentamiento distrital y domestico                               |
|        | 2.3                                                                             | Invernaderos                                                      |
| 3      | <b>Aplicaciones</b>                                                             |                                                                   |
|        | 3.1                                                                             | Aplicaciones de baja entalpía                                     |
|        | 3.2                                                                             | Aplicaciones de alta entalpía                                     |
| 4      | <b>Análisis de factibilidad técnica económica de proyectos de usos directos</b> |                                                                   |
|        | 4.1                                                                             | Aspectos financieros en la explotación de recursos geotérmicos    |
|        | 4.2                                                                             | Mercado energético en México                                      |
|        | 4.3                                                                             | Inversión, costo y ganancias de los proyectos geotérmicos         |
|        | 4.4                                                                             | Evaluación de la salud financiera de los proyectos geotérmicos    |
| 5      | <b>Dirección de proyectos de usos directos</b>                                  |                                                                   |
|        | 5.1                                                                             | Desarrollo de acta constitutiva del proyecto                      |
|        | 5.2                                                                             | Desarrollo de plan de dirección del proyecto                      |
|        | 5.2.1                                                                           | Dirigir y gestionar el proyecto                                   |
|        | 5.3                                                                             | Monitoreo y control del trabajo del proyecto                      |
|        | 5.4                                                                             | Cierre del proyecto o fase                                        |
| 6      | <b>Costo de los proyectos de usos directos</b>                                  |                                                                   |
|        |                                                                                 | Planificar la gestión de costos                                   |
|        |                                                                                 | Estimar costos generales                                          |
|        |                                                                                 | Determinar presupuesto                                            |
|        |                                                                                 | Controlar gastos                                                  |

|                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| Bibliografía Básica                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Battocletti E.C. and Glassley W.E. (2013). Measuring the Costs and Benefits of Nationwide Geothermal Heat Pump Deployment. US Department of Energy, <i>Final Report for Award DE-EE0002741</i> , 319 pp.    |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | Lienau P.J., Dickson M.H. and Fanelli M. (2006). <i>In Geothermal Energy: Utilization and Technology</i> . Industrial Applications. Editorial Earthscan.                                                    |                                                         |       |
| 3                                                                                                                                                                                                                     | Lund J.W. (2007). Characteristics, Development and Utilization of Geothermal Resources. <i>Geo-Heat Center Bulletin</i> , June, 1–9.                                                                        |                                                         |       |
| 4                                                                                                                                                                                                                     | Lund J.W., Freeston D.H., and Boyd T.L. (2011). Direct Utilization of Geothermal Energy: 2010 Worldwide Review. <i>Geothermics</i> , 40, 159–180.                                                           |                                                         |       |
| 5                                                                                                                                                                                                                     | Ochsner K. (2008). <i>Geothermal Heat Pumps</i> . Editorial Earthscan.                                                                                                                                      |                                                         |       |
| Bibliografía Complementaria                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                     | Davis M. (2013). Ground Source Heat Pump System Performance: Measuring the COP. <i>Ground Energy Support</i> , 12 pp. Referencia de <a href="http://www.groundenergy.com">http://www.groundenergy.com</a> . |                                                         |       |
| 2                                                                                                                                                                                                                     | Rafferty K.D. (2006). <i>Aquaculture Technology</i> . In <i>Geothermal Energy: Utilization and Technology</i> . Editorial M.H. Dickson and M. Fanelli. Earthscan.                                           |                                                         |       |
| 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                                                                                                                                                                                             | ( )                                                                                                                                                                                                         | Exposición de seminarios por los alumnos                | ( )   |
| Seminarios                                                                                                                                                                                                            | ( )                                                                                                                                                                                                         | Participación en clase                                  | ( X ) |
| Lecturas Obligatorias                                                                                                                                                                                                 | ( X )                                                                                                                                                                                                       | Asistencia                                              | ( )   |
| Trabajo de Investigación                                                                                                                                                                                              | ( )                                                                                                                                                                                                         | Seminario                                               | ( X ) |
| Prácticas de taller o laboratorio *                                                                                                                                                                                   | ( X )                                                                                                                                                                                                       | Otras: Reportes de ejercicios y prácticas               | ( X ) |
| Prácticas de campo *                                                                                                                                                                                                  | ( )                                                                                                                                                                                                         |                                                         |       |
| Otras: Utilización de programas de cómputo aplicables                                                                                                                                                                 | ( )                                                                                                                                                                                                         |                                                         |       |
| * Las prácticas de laboratorio y campo son requisitos sin valor en créditos                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Perfil profesiográfico                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Formación académica: Ingeniería Mecánica y afines, preferentemente con Posgrado con experiencia docente mínima de 2 años.                                                                                             |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Experiencia profesional: Ingeniero con experiencia mínima de 2 años en procesos industriales.                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Especialidad: Industrial y carreras afines.                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| Conocimientos específicos: Termodinámica y Mecánica.                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |
| 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. |                                                                                                                                                                                                             |                                                         |       |