

## Programa MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS

1. Nombre de la unidad curricular. Métodos Geofísicos Aplicados - CH405
2. Créditos. 10
3. Objetivo de la asignatura. El estudiante sea capaz de entender los documentos geofísicos y su elaboración e interpretación, conozca los procedimientos de medición y equipos de geofísica siempre vinculado a su utilización en las investigaciones para búsqueda de aguas subterráneas y para la proyección y control de obras hidrotécnicas, la obtención y análisis de sus medidas, y que sea capaz de diseñar y ejecutar los trabajos de campo completos para cada técnica estudiada.
4. Metodología de enseñanza. Para el dictado de las clases teóricas se utilizarán todos los medios que se dispongan en la Facultad. Las clases prácticas se desarrollaran sobre la base de los experimentos propuestos por la cátedra para cada unidad.  
El curso tendrá una carga teórica y práctica de 4 horas semanales y prácticas de campo que se estiman en unas 20 horas en el semestre. El alumno deberá dedicar igual carga horaria domiciliaria.  
El contenido de las clases prácticas se desarrollará en tres áreas:
  - a) Ejercicios prácticos con resolución analítica o mediante programa de computación en los que el estudiante deberá procesar e interpretar datos suministrados por el docente.
  - b) Seminarios donde se pretende desarrollar en los estudiantes habilidades para el trabajo de investigación y la presentación de sus resultados, y propiciar el debate de los aspectos presentados, en el grupo de clases, con la moderación del docente.
  - c) Práctica de campo para familiarizar al estudiante con el manejo del instrumental disponible y aplicar los métodos desarrollados en el curso teórico en función de la disponibilidad de los equipos.Para orientar al alumno se entregarán guías con el procedimiento a seguir en cada caso.

### 5. Temario.

#### **Tema I - Introducción.**

Características del curso. Objetivos y contenidos. Sistema de evaluación. La ingeniería geológica y la hidrogeología. Principales problemas a resolver en las investigaciones para la construcción y el control de obras hidrotécnicas. Métodos y procedimientos de investigación utilizados. Estudio de documentación disponible. Papel de las técnicas de cartografía automatizada y la teledetección. Los métodos ingeniero geológicos y sus procedimientos de campo. Los métodos geofísicos en la solución de los problemas ingeniero geológicos a resolver. La hidrogeología. Características de los suelos y las rocas atendiendo a sus posibilidades de contener agua. Tipos de acuíferos granulares, cárnicos y en grietas. Los procedimientos de investigación en condiciones de campo y la teledetección.

La importancia del conocimiento del agua subterránea y sus posibles afectaciones a las construcciones de cimentación, obras lineales superficiales, túneles y otras obras subterráneas, su papel en la desestabilización de macizos rocosos y los suelos. Los métodos geofísicos en la hidrogeología. Sismicidad y las aguas subterráneas. Los métodos de la geofísica aplicada como parte integrante del complejo de métodos de investigación. Las

propiedades físicas de las rocas y su repercusión en los campos físicos. La tarea directa e inversa. Ambigüedad de la tarea inversa. Modelos geológicos y modelos físico-geológicos. Conceptos de campo normal y anomalía.

### **Tema II - Métodos sísmicos.**

Conceptos generales. La sísmica y su papel en la geofísica. Ondas sísmicas. Principios de la física de las ondas sísmicas. Influencia de las propiedades físicas de las rocas. Generación y recepción de las ondas. Sismología y sísmica aplicada. Papel de la sísmica en las investigaciones someras. Cinemática y dinámica de las ondas sísmicas. Las oscilaciones en el dominio del tiempo: Período, frecuencia. Las oscilaciones en el dominio del espacio: longitud de onda. Frente y espalda de la onda. Sismograma. Correlación en valles y crestas. Espectros de amplitud y fase de la onda. Amplitud con la frecuencia, distancia y tiempo. Sísmica de reflexión, refracción y radiación. Tarea directa e inversa en la sísmica. Construcción de Hodógrafos. Identificación de ondas. Ondas directa, reflejadas y refractadas. Ondas difractadas. Ondas P y S. Ondas de Cambio. Ondas superficiales. Onda de acoplamiento aire tierra. Construcción de hodógrafos de ondas directa, refractada, de cambio y superficiales. Identificación de ondas. Obtención de la velocidad de ondas transversales. Ondas transversales monotípicas SV y SH. Procedimientos en el campo. Identificación en los sismogramas ondas SV y SH. Identificación ondas PSP. Velocidad ondas S a partir de las ondas de cambio PSP. Identificación Ondas superficiales de Rayleigh y Love. Relaciones  $V_p/V_s$  con las velocidades de las ondas superficiales. Las ondas sísmicas en Medios dispersivos. Curvas de dispersión para ondas Rayleigh y Love. Métodos de interpretación en la sísmica de refracción. Interpretación cuantitativa de los hodógrafos. Capas horizontales. Capas inclinadas. Medios gradientes. Interpretación automatizada con los métodos preliminares para  $X_c$ , el  $t_0$  generalizado, y la tomografía de velocidades. Interpretación de hodógrafos. Método  $t_0$ . Interpretación automatizada. Métodos de estudio de la dispersión de ondas superficiales. Los métodos activo MASW1D y MASW2D ((Multi-channel Analysis of Surface Waves) y el pasivo de estudio de microtemblores MAM (Microtremor Array Measurement) para la obtención de secciones de velocidad de ondas transversales. Interpretación del método 1dMASW y MAM. Ondas sísmicas en medios reales. Medio homogéneo e isótropo. Medio heterogéneo y anisótropo. La atenuación de la onda. Coeficiente de absorción y de divergencia. Estudio de la absorción. Procedimiento de campo. Determinación del índice de divergencia y el coeficiente de absorción de onda directa. Determinación del índice de divergencia y el coeficiente de absorción de onda refractada. Dependencia de la absorción con la frecuencia. Estudio de parámetros físico mecánicos de suelos y rocas. Dependencia de las velocidades con la densidad y la porosidad. Fórmula del tiempo promedio y otros modelos. Dependencias estadísticas. Módulos estáticos y dinámicos. Modelos elásticos y viscoelásticos. Módulos cuasiestáticos. Metodologías de los trabajos de campo. Sistemas de avance y encuentro. Perfiles y sondeo sísmico de refracción. Perfiles de tiempo. Radiación sísmica. Down hole, Up hole y Cross hole. Métodos ultrasónicos. Ondas ultrasónicas, su generación y registro. Ensayos US de laboratorio. Procedimientos para obtener ondas S. Secuencias de ensayos. Relación entre las velocidades de las ondas sísmicas y US.

### **Tema III - Métodos eléctricos.**

Métodos geoeléctricos y su clasificación. Métodos de fuente natural y de fuentes artificiales. Métodos de resistividad. Métodos electromagnéticos. Las propiedades física de las rocas. El método de Campo eléctrico natural. Principios físicos. Procedimientos de mediciones. dispositivos y equipos de medición. Variante potencial y gradiente. Libretas de campo. Campo natural. (Escala de las investigaciones, sistemas de perfiles y la magistral. Graficar la información de campo. Cálculo de errores. Interpretación cualitativa con gráficos de perfiles y

mapas de isolíneas. Elaboración manual y automatizada. Principios vinculados a las mediciones de resistividad. Medios homogéneos y heterogéneos. Medios isótropos y anisótropos. Resistividad aparente y resistividad real. Tipos de dispositivos. Método de Perfilaje Eléctrico. Dispositivos de perfilaje y procedimientos de campo. Libretas de campo. Curvas teóricas. Interpretación cualitativa. Procesamiento de la información. El perfilaje en la determinación del agrietamiento. Dispositivos y procedimientos especiales. Graficar red de perfiles con dispositivos simétrico de 2 aberturas. Perfilaje combinado. Casos de contactos verticales, capas gruesas y capas finas. Presentar en Surfer o SIG. Método de Sondeo Eléctrico Vertical. Dispositivos y metodología de los trabajos de campo. SEV circular. Libreta de campo. Tarea directa en el SEV. Obtención de curvas de dos y tres capas. Construcción de curvas de 2 capas con  $\rho_2 > \rho_1$ ,  $\rho_2 < \rho_1$ . Construcción de curvas de tres capas : Tipo H, K Q, A. Interpretación cuantitativa de curvas de dos y tres capas con ábacos de 2 capas y curvas auxiliares. Las curvas teóricas de tres capas. Interpretación cualitativa. Mapas de tipos de curvas. Cortes geoelectricos y mapas geoelectricos. Sondeos paramétricos. Interpretación automatizada. Interpretación con curvas de 2 capas y curvas de tres capas del tipo H, K, A y Q. Utilización de SEV paramétricos en la determinación de la  $\rho_2$  verdadera. Método de Tomografía Eléctrica. Principios físicos . Dispositivos y procedimientos de las mediciones de campo. Procedimientos de los métodos de inversión de la resistividad. Secciones 2D y 3D. Interpretación de la información. Interpretación cualitativa del SEV.

Interpretar tomografías eléctricas para varios casos seleccionados. Método de Cuerpo Cargado. Dispositivos y procedimiento de medición. El cuerpo cargado en la determinación de velocidad y dirección de flujo de las aguas subterráneas. Método de Polarización Inducida.

#### **Tema IV- Métodos electromagnéticos.**

Aspectos generales de los métodos electromagnéticos. Métodos o técnicas electromagnéticos. Metodología de los trabajos de campo de cada método. Interpretación de los resultados. Georradar. Dispositivos y equipamiento. Interpretación de los resultados.

#### **Tema V - Métodos geofísicos de pozos.**

Dispositivos de medición. Principales métodos utilizados. Cavernometría. Potencial espontáneo. Resistividad. Gamma natural. Gamma-gamma. Neutrón-gamma. Neutrón-neutrón. Sónico. Métodos especiales en la hidrogeología. Correlación de datos de geofísica de pozos con los datos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos. Correspondencia entre la geofísica de pozos y la geofísica de superficie.

#### **Tema VI – Otros métodos geofísicos en las aplicaciones hidrogeológicas e ingeniero geológicas.**

Método gravimétrico. Dispositivos y procedimientos de medición. Elaboración y presentación de los datos. Interpretación cuantitativa y cualitativa. Método magnético. Dispositivos y procedimientos de medición. Elaboración y presentación de los datos. Interpretación cuantitativa y cualitativa. Método radiométrico. Dispositivos y procedimientos de medición. Elaboración y presentación de los datos. Interpretación cuantitativa y cualitativa.

#### **Tema VII – Aplicación combinada de los métodos geofísicos.**

Metodología de las investigaciones, métodos a utilizar, procedimientos indicados, técnicas especiales de trabajos de campo, de elaboración y de interpretación para casos tales como: condiciones de las cimentaciones de obras hidrotécnicas. Detección de filtraciones en las obras, evaluación de deslizamientos, La detección de la posición del nivel de las aguas subterráneas y determinación de los espesores de rocas colectoras y posición de las rocas impermeables. Relación de los resultados geofísicos con los obtenidos por otras disciplinas. Papel del informe geofísico y su integración al informe final.

Interpretación combinada con fines hidrogeológicos y en obras hidrotécnicas.

## 6. Bibliografía.

Applied Geophysics 2º ed. W.M. Telford - L.P. Geldart - R.E. Sheriff. Cambridge. ISBN:0-521-33938-3. 2011.

Applied Hydrogeophysics -H. Vereecken, Binley A., G. Cassiani, A. Revil and K. Titov. Springer. ISBN:1-4020-4910-1. 2010.

Interpretation Theory in Applied Geophysics - Grant and West.

Investigation in Geophysics N° 13. Near surface Geophysics- SEG. ISBN:1-56080-130-1. 2005

Groundwater Geophysics, R. Kirsch. Springer. ISBN: 978-3-540-88-404-0. 2009.

Métodos geofísicos de Pozos I. J. Ruiz, M. Kobr.

Petrofísica. H. Alonso. Pueblo y educación. 1990.

Practical Magnetotellurics, Fiona Simpson and Karsten Bahr. Cambridge. ISBN:052181727-7. 2005.

Prospección geoelectrica en corriente continua. E. Orellana. Paraninfo. 1972.

Prospección geoelectrica por campos variables. E. Orellana. Paraninfo. 1972.

Material proporcionado por la cátedra

## 7. Conocimientos previos recomendados. Se recomienda que los alumnos tengan conocimientos de Cálculo, Geometría y Álgebra Lineal, Física Geología y Geofísica General.

## Anexo

### 1) Cronograma tentativo.

Tema	Contenidos	Actividad	Semana
I	Introducción. La ingeniería geológica y la hidrogeología. Principales problemas a resolver en las investigaciones para la construcción y el control de obras hidrotécnicas. Métodos y procedimientos de investigación utilizados. Estudio de documentación disponible. Papel de las técnicas de cartografía automatizada y la teledetección. Los métodos ingeniero geológicos y sus procedimientos de campo. Los métodos geofísicos en la solución de los problemas ingeniero geológicos a resolver. La hidrogeología. Características de los suelos y las rocas atendiendo a sus posibilidades de contener agua. Tipos de acuíferos granulares, cársicos y en grietas. Los procedimientos de investigación en condiciones de campo y la teledetección.	Teórica	1 <sup>a</sup>
I	La importancia del conocimiento del agua subterránea y sus posibles afectaciones a las construcciones de cimentación, obras lineales superficiales, túneles y otras obras subterráneas, su papel en la desestabilización de macizos rocosos y los suelos. Los métodos geofísicos en la hidrogeología. Sismicidad y las aguas subterráneas. Los métodos de la geofísica aplicada como parte integrante del complejo de métodos de investigación. Las propiedades físicas de las rocas y su repercusión en los campos físicos. La tarea directa e inversa. Ambigüedad de la tarea inversa. Modelos geológicos y modelos físico-geológicos. Conceptos de campo normal y anomalía.	Teórica	1 <sup>a</sup>
II	Conceptos generales. La sísmica y su papel en la geofísica. Ondas sísmicas. Principios de la física de las ondas sísmicas. Influencia de las propiedades físicas de las rocas. Generación y recepción de las ondas. Sismología y sísmica aplicada. Papel de la sísmica en las investigaciones someras. Cinemática y dinámica de las ondas sísmicas. Las oscilaciones en el dominio del tiempo: Período, frecuencia. Las oscilaciones en el dominio del espacio: longitud de onda. Frente y espalda de la onda. Sismograma. Correlación en valles y crestas. Espectros de amplitud y fase de la onda. Amplitud con la frecuencia, distancia y tiempo. Sísmica de reflexión, refracción y radiación. Tarea directa e inversa en la sísmica. Construcción de Hodógrafos.	Teórica	2 <sup>a</sup>
II	Identificación de ondas. Ondas directa, reflejadas y refractadas. Ondas difractadas. Ondas P y S. Ondas de Cambio. Ondas superficiales. Onda de acoplamiento aire tierra. Construcción de hodógrafos de ondas directa, refractada, de cambio y superficiales. Identificación de ondas.	Teórica/Práctica	2 <sup>a</sup>
II	Obtención de la velocidad de ondas transversales. Ondas transversales monotípicas SV y SH. Procedimientos en el campo. Identificación en los sismogramas ondas SV y SH. Identificación ondas PSP. Velocidad ondas S a partir de las ondas de cambio PSP. Identificación Ondas superficiales de Rayleigh y Love.	Teórica	3 <sup>a</sup>

	Relaciones Vp/Vs con las velocidades de las ondas superficiales. Las ondas sísmicas en Medios dispersivos. Curvas de dispersión para ondas Rayleigh y Love.		
II	Interpretación automatizada con los métodos preliminares para Xc , el to generalizado. y la tomografía de velocidades. Interpretación de hodógrafos. Método t0. Interpretación automatizada.	Teórica/Práctica	3ª
II	Métodos de estudio de la dispersión de ondas superficiales. Los métodos activo MASW1D y MASW2D ((Multi-channel Analysis of Surface Waves) y el pasivo de estudio de microtemblores MAM (Microtremor Array Measurement) para la obtención de secciones de velocidad de ondas transversales. Interpretación del método 1dMASW y MAM.	Teórica/Práctica	4ª
II	Ondas sísmicas en medios reales. Medio homogéneo e isótropo. Medio heterogéneo y anisótropo. La atenuación de la onda. Coeficiente de absorción y de divergencia. Estudio de la absorción. Procedimiento de campo. Determinación del índice de divergencia y el coeficiente de absorción de onda directa. Determinación del índice de divergencia y el coeficiente de absorción de onda refractada. Dependencia de la absorción con la frecuencia.	Teórica	4ª
II	Estudio de parámetros físico mecánicos de suelos y rocas. Dependencia de las velocidades con la densidad y la porosidad. Fórmula del tiempo promedio y otros modelos. Dependencias estadísticas. Módulos estáticos y dinámicos. Modelos elásticos y viscoelásticos. Módulos cuasiestáticos.	Teórica	5ª
II	Metodologías de los trabajos de campo. Sistemas de avance y encuentro. Perfiles y sondeo sísmico de refracción. Perfiles de tiempo. Radiación sísmica. Down hole, Up hole y Cross hole. Métodos ultrasónicos. Ondas ultrasónicas, su generación y registro. Ensayos US de laboratorio. Procedimientos para obtener ondas S. Secuencias de ensayos. Relación entre las velocidades de las ondas sísmicas y US. Práctica de campo Métodos sísmicos.	Teórica/Práctica	5ª
III	Métodos geoelectrónicos y su clasificación. Métodos de fuente natural y de fuentes artificiales. Métodos de resistividad. Métodos electromagnéticos. Las propiedades física de las rocas. El método de Campo eléctrico natural. Principios físicos. Procedimientos de mediciones. dispositivos y equipos de medición. Variante potencial y gradiente. Libretas de campo.	Teórico	6ª
III	Campo natural. (Escala de las investigaciones, sistemas de perfiles y la magistral. Graficar la información de campo. Cálculo de errores. Interpretación cualitativa con gráficos de perfiles y mapas de isolíneas. Elaboración manual y automatizada.	Práctica	6ª
III	Principios vinculados a las mediciones de resistividad. Medios homogéneos y heterogéneos. Medios isótropos y anisótropos. Resistividad aparente y resistividad real. Tipos de dispositivos. Método de Perfilaje Eléctrico. Dispositivos de perfilaje y procedimientos de campo. Libretas de campo. Curvas teóricas. Interpretación cualitativa. Procesamiento de la información. El perfilaje en la determinación del agrietamiento. Dispositivos y procedimientos especiales.	Teórica	7ª

III	Graficar red de perfiles con dispositivos simétrico de 2 aberturas. Perfilaje combinado. Casos de contactos verticales, capas gruesas y capas finas. Presentar en Surfer o SIG.	Práctica	7ª
	Consulta y Segundo Parcial	Evaluación	8ª
III	Método de Sondeo Eléctrico Vertical. Dispositivos y metodología de los trabajos de campo. SEV circular. Libreta de campo. Tarea directa en el SEV. Obtención de curvas de dos y tres capas.	Teórica	9ª
III	Construcción de curvas de 2 capas con $ro_2 > ro_1$ , $ro_2 < ro_1$ . Construcción de curvas de tres capas : Tipo H, K Q, A. Interpretación cuantitativa de curvas de dos y tres capas con ábacos de 2 capas y curvas auxiliares.	Teórica	9ª
III	Las curvas teóricas de tres capas. Interpretación cualitativa. Mapas de tipos de curvas. Cortes geoelectricos y mapas geoelectricos. Sondeos paramétricos. Interpretación automatizada.	Teórica	10ª
III	Interpretación con curvas de 2 capas y curvas de tres capas del tipo H, K, A y Q. Utilización de SEV paramétricos en la determinación de la $ro_2$ verdadera.	Práctica	10ª
III	Método de Tomografía Eléctrica. Principios físicos. Dispositivos y procedimientos de las mediciones de campo. Procedimientos de los métodos de inversión de la resistividad. Secciones 2D y 3D. Interpretación de la información. Clase práctica métodos eléctricos.	Teórica/Práctica	11ª
III	Interpretación cualitativa del SEV. Interpretar tomografías eléctricas para varios casos seleccionados.	Práctica	11ª
III	Método de Cuerpo Cargado. Dispositivos y procedimiento de medición. El cuerpo cargado en la determinación de velocidad y dirección de flujo de las aguas subterráneas. Método de Polarización Inducida.	Teórica	12ª
IV	Aspectos generales de los métodos electromagnéticos. Métodos o técnicas electromagnéticos.	Teórica	12ª
IV	Metodología de los trabajos de campo de cada método. Interpretación de los resultados. Georradar. Dispositivos y equipamiento. Interpretación de los resultados. Clase práctica método electromagnético	Teórica	13ª
V	Dispositivos de medición. Principales métodos utilizados. Cavernometría. Potencial espontáneo. Resistividad. Gamma natural. Ganma-gamma. Neutrón-gamma. Neutrón-neutrón. Sónico.	Teórica	13ª
V	Métodos especiales en la hidrogeología. Correlación de datos de geofísica de pozos con los datos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos. Correspondencia entre la geofísica de pozos y la geofísica de superficie.	Teórica	14ª
VI	Método gravimétrico. Dispositivos y procedimientos de medición. Elaboración y presentación de los datos. Interpretación cuantitativa y cualitativa. Método magnético. Dispositivos y procedimientos de medición. Elaboración y presentación de los datos. Interpretación cuantitativa y cualitativa. Método radiométrico. Dispositivos y procedimientos de medición. Elaboración y presentación de	Teórica	14ª

	los datos. Interpretación cuantitativa y cualitativa.		
VII	Metodología de las investigaciones, métodos a utilizar, procedimientos indicados, técnicas especiales de trabajos de campo, de elaboración y de interpretación para casos tales como: condiciones de las cimentaciones de obras hidrotécnicas. Detección de filtraciones en las obras, evaluación de deslizamientos, La detección de la posición del nivel de las aguas subterráneas y determinación de los espesores de rocas colectoras y posición de las rocas impermeables. Relación de los resultados geofísicos con los obtenidos por otras disciplinas. Papel del informe geofísico y su integración al informe final.	Teórica	15ª
VII	Interpretación combinada con fines hidrogeológicos y en obras hidrotécnicas.	Teórica	15ª
	Consulta y Segundo Parcial	Evaluación	16ª

## 2) Modalidad del curso y procedimiento de evaluación.

La evaluación se regirá por los criterios generales de pruebas parciales y exámenes, de acuerdo con el puntaje obtenido en dichas pruebas. Se propondrán dos parciales, que totalizarán un puntaje máximo de 100 puntos, correspondiendo al primero un máximo de 40 y al segundo de 60 puntos. La primera prueba parcial abordará los temas 1, 2 y parte del tema 3. La segunda prueba parcial abordará los temas 3 y 4.

Para la aprobación del curso, deberá tenerse un mínimo de 10 y 15 puntos en los parciales respectivamente.

Los estudiantes que obtengan un puntaje total de 60 o más puntos y no tengan menos de 20 y 30 puntos en el primer y segundo parcial respectivamente, exonerarán la parte escrita del examen final, debiendo rendir sólo una prueba oral sobre el total del curso.

Los estudiantes que tengan un puntaje total comprendido entre 25 y 59 puntos -inclusive-, o que teniendo más de 60 puntos en total hayan obtenido menos del mínimo exigido en cada parcial, habrán ganado el curso y tendrán derecho a dar el examen final, que constará de una prueba escrita eliminatoria sobre el total del curso y una prueba oral. El lapso que tendrán para dar el examen será de 2 años a partir de la aprobación del curso y dispondrán de 3 oportunidades para rendirlos.

En caso de no aprobar el examen en estas 3 oportunidades el estudiante deberá volver a rendir los parciales para ganar el curso.