



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA**



<b>ASIGNATURA:</b> SISMOLOGÍA				<b>TIPO DE ASIGNATURA:</b> OBLIGATORIA			
<b>CODIGO:</b> 3310	<b>UNIDADES:</b> 4			<b>REQUISITOS:</b> 3301, 3330, 3111			
<b>HORAS/SEMANA:</b> 5	<b>TEORÍA:</b> 3	<b>PRÁCTICA:</b> 2	<b>LABORATORIO:</b>	<b>SEMINARIO:</b>	<b>TRABAJO SUPERVISADO:</b>	<b>HORAS TOTALES DE ESTUDIO:</b> 10	<b>SEMESTRE:</b> 9

### FUNDAMENTACIÓN

El registro, análisis, ubicación de fuentes de temblores sísmicos, asociación con estructuras geológicas, cálculo de riesgo sísmico, son actividades de la Sismología, muy relacionados con la Geología y los procedimientos de adquisición de datos, procesamiento e interpretación de la prospección geofísica.

### PROPÓSITOS

El objetivo que se persigue en la asignatura en cuestión, es proveer al estudiante de Ingeniería Geofísica, dentro de una formulación lineal, de una visión integral y coherente de la génesis de las ondas sísmicas para dotar a éste con una asociación entre “eventos sísmicos”, ondas elásticas y procesos físicos pertinentes a la Geología. Por ende, dicho conocimiento, le capacitará a plantear hipótesis pragmáticas para visualizar los “eventos sísmicos”, naturales (y/o artificialmente creados), en términos de parámetros como Magnitud, Momento Sísmico, Fuentes Elementales y Mecanismos Focales

### OBJETIVOS

#### 1. Elementos de la Mecánica del Medio Continuo

##### 1.1. Objetivos Generales

El estudiante adquirirá la capacidad de deducir las ecuaciones fundamentales, que rigen el comportamiento elastodinámico de un sólido deformable, sometido a esfuerzos (tectónicos), para explicar flujos de masa, momentum y energía dentro de la corteza terrestre y litósfera.

##### 1.2. Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

1.2.1. Utilizar la notación indicial para calcular compactamente los objetos tensoriales.

1.2.2. Establecer las relaciones constitutivas entre esfuerzo y deformación, pertinentes a un medio isotrópico lineal.

1.2.3. Establecer los flujos de materia, momentum y energía de una región espacial de interés, al igual que la rapidez de sus cambios.

#### 2. Ondas Sísmicas Corpóreas

##### 2.1. Objetivos Generales

El estudiante será capaz de deducir la ecuación elastodinámica de Cauchy, involucrada en medios no acotados y por ende, explicar el origen de las ondas P y S.

##### 2.2. Objetivos Específicos

El estudiante adquirirá la capacidad de:

2.2.1. Emplear las relaciones de conservación, en conjunción con el Teorema de Transporte de Reynolds, para deducir la ecuación elastodinámica de Cauchy en descripción Lagrangiana.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA 1/7
---------------------------------	----------------------------------	--------	--------------------	-------------



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA**



<b>ASIGNATURA:</b> SISMOLOGÍA				<b>TIPO DE ASIGNATURA:</b> OBLIGATORIA			
<b>CODIGO:</b> 3310	<b>UNIDADES:</b> 4			<b>REQUISITOS:</b> 3301, 3330, 3111			
<b>HORAS/SEMANA:</b> 5	<b>TEORÍA:</b> 3	<b>PRÁCTICA:</b> 2	<b>LABORATORIO:</b>	<b>SEMINARIO:</b>	<b>TRABAJO SUPERVISADO:</b>	<b>HORAS TOTALES DE ESTUDIO:</b> 10	<b>SEMESTRE:</b> 9

- 2.2.2. Desacoplar la ecuación elastodinámica a través de métodos vectoriales, bajo hipótesis de homogeneidad del medio elástico infinito e isotrópico.
- 2.2.3. Establecer el proceso de la existencia de ondas P, S y acústicas en medios homogéneos infinitos.

### 3. Sismograma Sintético

#### 3.1. Objetivos Generales

El estudiante será capaz de describir el proceso de generación y propagación de las ondas acústicas en medios semiinfinitos homogéneos y en una guía de ondas, por medio de postular fuentes integrables, inmersas a cierta profundidad.

#### 3.2. Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

- 3.2.1. Introducir la noción de fuente explosiva puntual y usar las transformadas de Fourier, conjuntamente con el plano complejo para obtener una respuesta sísmica.
- 3.2.2. Usar las transformadas de Fourier y Hankel para reducir el problema a uno propio del álgebra.
- 3.2.3. Invertir el proceso de las transformadas involucradas, para resolver el problema de fuentes inmersas en una guía de ondas.
- 3.2.4. Comprender la teoría pertinente de un mecanismo focal generado por una doble cupla.

### 4. Cuantificación de los Terremotos

#### 4.1. Objetivos Generales

El estudiante será capaz de deducir heurísticamente, la relación empírica de Gutenberg-Richter, para ponderar, cuán grande es un evento sísmico, natural o artificialmente creado, frente a uno standard. Por ende comprenderá el fenómeno de saturación de la escala de Richter, para ondas superficiales y la necesidad de la creación del concepto de Momento Sísmico, para visualizar la ocurrencia de un terremoto superficial como un proceso de fallamiento, con la concomitante caída de esfuerzos en un volumen de edad cuaternaria.

#### 4.2. Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

- 4.2.1. Aplicar el concepto de flujo de energía cinética a través de una superficie cerrada para estimar, (despreciando posibles reflexiones y consideraciones termodinámicas), la energía sísmica total.
- 4.2.2. Hipotetizar físicamente sobre las velocidades de ondas corpóreas involucradas en un sismograma para deducir la Ley de Gutenberg-Richter.
- 4.2.3. Apelar a sistemas de fuerzas equivalentes, para crear el concepto de momento sísmico liberado en la ocurrencia de un terremoto.

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA 2/7
---------------------------------	----------------------------------	--------	--------------------	-------------



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA**



<b>ASIGNATURA:</b> SISMOLOGÍA				<b>TIPO DE ASIGNATURA:</b> OBLIGATORIA			
<b>CODIGO:</b> 3310	<b>UNIDADES:</b> 4			<b>REQUISITOS:</b> 3301, 3330, 3111			
<b>HORAS/SEMANA:</b> 5	<b>TEORÍA:</b> 3	<b>PRÁCTICA:</b> 2	<b>LABORATORIO:</b>	<b>SEMINARIO:</b>	<b>TRABAJO SUPERVISADO:</b>	<b>HORAS TOTALES DE ESTUDIO:</b> 10	<b>SEMESTRE:</b> 9

- 4.2.4. Recalcular la energía sísmica en términos de la nueva escala de magnitudes de Kanamori.
- 4.2.5. Entender la relación entre los mecanismos focales y el patrón de radiación sísmica.

## 5. Medios Dispersivos

### 5.1. Objetivos Generales

El estudiante será capaz de comprender el problema que se genera en la transmisión de ondas a través de un medio inhomogéneo o cuando las longitudes de onda involucradas y/o las frecuencias asociadas, son del orden de las estructuras constitutivas y/o de las frecuencias propias de éstas. Por ende, será capaz de razonar y formular generalizaciones de una señal sísmica, cuya velocidad de propagación en el medio en cuestión, depende del número de onda o de la frecuencia involucrada.

### 5.2. Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

- 5.2.1. Comprender la necesidad de ampliar el concepto de la propagación de una onda sísmica en relación a la estructura del medio.
- 5.2.2. Calcular la velocidad de propagación como una manifestación colectiva de interacción entre números de onda y frecuencias permisibles, denominada Velocidad de grupo.
- 5.2.3. Recalcular los índices de refracción (relativos) como dependientes de la frecuencia, conocida la relación de Dispersión del medio.
- 5.2.4. Examinar las consecuencias que las velocidades de grupo, para lo onda P y S, arrojan sobre el Modelo Dinámico del subsuelo terrestre.

## 6. Medios Acotados y Ondas Superficiales

### 6.1. Objetivos Generales

El estudiante estará en capacidad de describir el proceso de propagación de ondas elásticas en semiespacios homogéneos y en una guía de ondas, por medio de postular condiciones, compatibles con hechos observacionales, sobre el campo de desplazamientos y los esfuerzos (tectónicos) que solicitan los espacios en cuestión.

### 6.2. Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

- 6.2.1. Plantear ecuaciones de onda adecuadas, en consonancia con campos de desplazamientos amortiguados y condiciones de borde sobre los esfuerzos, propios de un semiespacio libre.
- 6.2.2. Resolver el sistema de ecuaciones pertinentes, apelando a la Ley de Hooke, particularizada a la condición de Poisson.
- 6.2.3. Determinar la velocidad de fase de la onda Rayleigh y la trayectoria retrógrada-

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA 3/7
---------------------------------	----------------------------------	--------	--------------------	-------------



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA**



<b>ASIGNATURA:</b> SISMOLOGÍA			<b>TIPO DE ASIGNATURA:</b> OBLIGATORIA			
<b>CODIGO:</b> 3310	<b>UNIDADES:</b> 4		<b>REQUISITOS:</b> 3301, 3330, 3111			
<b>HORAS/SEMANA:</b> 5	<b>TEORÍA:</b> 3	<b>PRÁCTICA:</b> 2	<b>LABORATORIO:</b>	<b>SEMINARIO:</b>	<b>TRABAJO SUPERVISADO:</b>	<b>HORAS TOTALES DE ESTUDIO:</b> 10
						<b>SEMESTRE:</b> 9

- elíptica de las partículas constitutivas de la superficie libre del semiespacio.
- 6.2.4. Plantear las ecuaciones de onda de cizalla adecuadas, para una capa elástica sobre un semiespacio libre.
  - 6.2.5. Resolver el sistema de ecuaciones pertinentes, estipulando tracciones nulas sobre la superficie libre y continuidad tanto de los esfuerzos como de los campos de desplazamiento, en la interfase capa-semiespacio.
  - 6.2.6. Determinar la velocidad de fase de la onda (dispersiva) Love y sus diferentes modos.

### 7. Ecuación Eikonal y Teoría de Rayos

#### 7.1. Objetivos Generales

El estudiante adquirirá la capacidad de generalizar la ecuación de onda homogénea para examinar procesos de propagación de ondas, donde la densidad del medio y/o velocidad de fase, varíen con la posición. Por ende, en el caso de altas frecuencias, obtendrá una ecuación que rige el comportamiento de los frentes de onda, en donde las normales a dichas superficies dictan las trayectorias o rayos con que la energía se propaga a través del medio inhomogéneo.

#### 7.2. Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

- 7.2.1. Deducir a partir de la Ecuación de onda, dos ecuaciones en derivadas parciales, (no lineales), acopladas para la fase generalizada y la amplitud variable.
- 7.2.2. Enunciar hipótesis de trabajo adiabáticas sobre la variación de la amplitud involucrada y estimar órdenes de magnitud dominantes en el caso de altas frecuencias.
- 7.2.3. Aplicar la ley de Snell al caso de una tierra esféricamente estratificada y definir el Parámetro de Rayo.
- 7.2.4. Deducir la expresión diferencial que ligan el parámetro de rayo, el tiempo de viaje y la distancia epicentral.
- 7.2.5. Calcular las expresiones para la distancia epicentral y tiempo total de viaje.

### 8. Teoría Elemental de Inversión

#### 8.1. Objetivos Generales

El estudiante será capaz de construir curvas camino-tiempo, mediante las cuales, al (hipotetizar el crecimiento de la velocidad con la profundidad y familiarizarlo con técnicas de ecuaciones integrales), podrá inferir la distribución de velocidades pertinentes a diferentes zonas en el interior de la tierra.

#### 8.2. Objetivos Específicos

El estudiante será capaz de:

- 8.2.1. Razonar la elaboración de una curva camino-tiempo para terremotos telesísmicos.
- 8.2.2. Visualizar el resultado de una medida física, como la acción de un operador integral,

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA 4/7
---------------------------------	----------------------------------	--------	--------------------	-------------



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA**



<b>ASIGNATURA:</b> SISMOLOGÍA				<b>TIPO DE ASIGNATURA:</b> OBLIGATORIA			
<b>CODIGO:</b> 3310	<b>UNIDADES:</b> 4			<b>REQUISITOS:</b> 3301, 3330, 3111			
<b>HORAS/SEMANA:</b> 5	<b>TEORÍA:</b> 3	<b>PRÁCTICA:</b> 2	<b>LABORATORIO:</b>	<b>SEMINARIO:</b>	<b>TRABAJO SUPERVISADO:</b>	<b>HORAS TOTALES DE ESTUDIO:</b> 10	<b>SEMESTRE:</b> 9

sobre una función, (de estructura desconocida), la cual describe el fenómeno físico a estudiar. Por ende, se le capacitará a construir dicha función bajo la óptica de una ecuación integral de Abel.

- 8.2.3. Extraer, adecuadamente, la información contenida en una curva camino-tiempo, mediante el concepto de parámetro de rayo como tangentes a dicha curva, para diferentes distancias hipocentrales.
- 8.2.4. Diseñar el operador inverso para construir el algoritmo de inversión y obtener la distribución de velocidades.

## CONTENIDO

### 1. PROGRAMA SINÓPTICO

Teoría: Elementos de Mecánica del Medio Continuo. Ondas Sísmicas Corpóreas. Sismograma Sintético Cuantificación de Terremotos. Medios Dispersivos. Ondas superficiales. Ecuación Eikonal y Teoría de Rayos. Teoría Elemental de Inversión.

### 2. TEMARIO

- 2.1. Elementos de la Mecánica del Medio Continuo (13 horas)
  - 2.1.1. Noción de campo de desplazamientos y deformación.
  - 2.1.2. Tensor de Deformación y Rotación infinitesimal.
  - 2.1.3. Tetrahedro de Cauchy y Tensor de Esfuerzos.
  - 2.1.4. Ley de Hooke Generalizada y Tensor Elástico.
  - 2.1.5. Hipótesis Adiabática e Isotérmica y Caracterización de un Medio Isotrópico.
  - 2.1.6. Descripción Euleriana, Lagrangiana y Derivada Material
  - 2.1.7. Teorema de Gauss y Concepto de Flujo a Través de una Superficie.
- 2.2. Ondas Sísmicas Corpóreas (7 horas)
  - 2.2.1. Relaciones de conservación y Teorema de Transporte de Reynolds.
  - 2.2.2. Ecuación Elastodinámica de Cauchy.
  - 2.2.3. Medio infinito isotrópico, elástico y génesis de las ondas P y S.
  - 2.2.4. Tensor de Esfuerzos hidrostático y Ecuación de Presión Acústica.
- 2.3. Sismograma Sintético (16 horas)
  - 2.3.1. Ecuación de Onda Acústica inhomogénea y función de Green para un medio infinito.
  - 2.3.2. Semi-espacio sujeto a tracciones superficiales uniformes; señales temporales.
  - 2.3.3. Uso de las integrales de Fourier para representar señales temporales y ecuación de

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA 5/7
---------------------------------	----------------------------------	--------	--------------------	-------------



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA**



<b>ASIGNATURA:</b> SISMOLOGÍA				<b>TIPO DE ASIGNATURA:</b> OBLIGATORIA			
<b>CODIGO:</b> 3310	<b>UNIDADES:</b> 4			<b>REQUISITOS:</b> 3301, 3330, 3111			
<b>HORAS/SEMANA:</b> 5	<b>TEORÍA:</b> 3	<b>PRÁCTICA:</b> 2	<b>LABORATORIO:</b>	<b>SEMINARIO:</b>	<b>TRABAJO SUPERVISADO:</b>	<b>HORAS TOTALES DE ESTUDIO:</b> 10	<b>SEMESTRE:</b> 9

<p>D'Alembert.</p> <p>2.3.4. Funciones de onda plana y cilíndrica.</p> <p>2.3.5. Ecuación de onda y condiciones acústicas de borde.</p> <p>2.3.6. Reflexión de una onda acústica plana.</p> <p>2.3.7. Propagación de ondas acústicas en una guía de ondas de una sola capa.</p> <p>2.3.8. Uso de la Transformada de Hankel y condición de Radiación de Sommerfeld.</p> <p>2.3.9. Solución formal del Problema.</p> <p>2.4. Cuantificación de los Terremotos (7 horas)</p> <p>2.4.1. Flujo de Energía Cinética en el suelo terrestre y cálculo de la energía sísmica total.</p> <p>2.4.2. Magnitud corpórea y local, Ley de Gutenberg-Richter.</p> <p>2.4.3. Momento sísmico y escala de magnitudes según Kanamori.</p> <p>2.4.4. Mecanismos focales y patrones de radiación.</p> <p>2.5. Medios Dispersivos (7 horas)</p> <p>2.5.1. Concepto de velocidad de grupo.</p> <p>2.5.2. Relaciones de Dispersión.</p> <p>2.5.3. Índice de Refracción (relativo) dependiente de la frecuencia.</p> <p>2.5.4. Modelo dinámico del subsuelo terrestre.</p> <p>2.6. Medios Acotados y Ondas Superficiales (8 horas)</p> <p>2.6.1. Caracterización de las oscilaciones libres de un semi-espacio.</p> <p>2.6.2. Génesis de las Ondas Rayleigh.</p> <p>2.6.3. Caracterización de las vibraciones libres de una capa sobre un semi-espacio.</p> <p>2.6.4. Génesis de las ondas Love.</p> <p>2.7. Ecuación Eikonal y Teoría de Rayos (7 horas)</p> <p>2.7.1. Ecuación de onda en el límite de altas frecuencias</p> <p>2.7.2. Teoría de rayos para una tierra esféricamente estratificada.</p> <p>2.7.3. Parámetro del rayo y distancia sísmica.</p> <p>2.7.4. Tiempo total de viaje.</p> <p>2.8. Teoría Elemental de Inversión (5 horas)</p> <p>2.8.1. Curvas camino-tiempo.</p> <p>2.8.2. Ecuación integral de Abel</p> <p>2.8.3. Algoritmo de inversión.</p>
---

**ESTRATEGIAS**

APROBADO EN CONSEJO DE ESCUELA:	APROBADO EN CONSEJO DE FACULTAD:	DESDE:	VIGENCIA HASTA:	HOJA 6/7
---------------------------------	----------------------------------	--------	--------------------	-------------



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA**



<b>ASIGNATURA:</b> SISMOLOGÍA				<b>TIPO DE ASIGNATURA:</b> OBLIGATORIA			
<b>CODIGO:</b> 3310	<b>UNIDADES:</b> 4			<b>REQUISITOS:</b> 3301, 3330, 3111			
<b>HORAS/SEMANA:</b> 5	<b>TEORÍA:</b> 3	<b>PRÁCTICA:</b> 2	<b>LABORATORIO:</b>	<b>SEMINARIO:</b>	<b>TRABAJO SUPERVISADO:</b>	<b>HORAS TOTALES DE ESTUDIO:</b> 10	<b>SEMESTRE:</b> 9

Exposición

**RECURSOS**

Pizarrón, instructivos escritos, mapas

**EVALUACIÓN**

3 exámenes parciales (20% c/u):	60%
Exámenes cortos:	10%
Prácticas y tareas:	30%

**REQUISITOS**

Métodos Matemáticos de la Física (3301)  
 Teoría de Filtros (3330)  
 Geología Estructural (3111)

**BIBLIOGRAFÍA**

Stein, S. and M. Wyssession (2003) An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure. Blackwell Publishing. 498 p.  
 Aki, K. and P. Richards (2002) Quantitative Seismology (second edition) University Science Books. 700 p.  
 Bath, M. and A. Berkhout (1988) Mathematical Aspects of Seismology, second edition. Geophysical Press. 448 p.  
 Ben-Menahem, A. and S. Singh (2000) Seismic Waves and Sources. Dover. 1136 p.  
 Gubbins, D. (1990) Seismology and Plate Tectonics. Cambridge University Press. 339 p.