



# Máster en Iniciación a la Investigación en Geología 60317 - Análisis de paleoesfuerzos: métodos y aplicaciones

Guía docente para el curso 2013 - 2014

Curso: 1, Semestre: 1, Créditos: 4.0

---

## Información básica

---

### Profesores

- Luis Eduardo Arlegui Crespo arlegui@unizar.es

- José Luis Simón Gómez jsimon@unizar.es

### Recomendaciones para cursar esta asignatura

Los alumnos que deseen cursar esta asignatura deben tener una buena base en Geología Estructural, especialmente en lo que se refiere al dominio frágil, el reconocimiento en campo de estructuras frágiles, indicadores cinemáticos y la toma de medidas en el campo; se recomienda haber cursado en sus estudios de grado/licenciatura las asignaturas optativas Análisis Estructural y Tectónica.

### Actividades y fechas clave de la asignatura

Información específica

Fecha de inicio de la asignatura: Octubre de 2013

Fecha de finalización de la asignatura: Diciembre de 2013

Fechas de las salidas de campo: se publicará en el calendario de campo del Departamento de Ciencias de la Tierra.

Fecha de entrega de memorias y trabajo: por determinar

---

## Inicio

---

### Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

**El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...**

- 1:** Es capaz de planificar y realizar una campaña de toma de datos en el campo para una reconstrucción regional de paleoesfuerzos.
- 2:** Conoce y es capaz de aplicar las técnicas de análisis geométrico y cinemático de poblaciones de diaclasas y

su interpretación en términos dinámicos.

- 3:** Conoce y es capaz de aplicar las técnicas de análisis geométrico y cinemático de poblaciones de estilolitos y grietas de extensión y su interpretación en términos dinámicos.
- 4:** Conoce y maneja con soltura diferentes métodos de análisis poblacional de fallas.
- 5:** Conoce las técnicas necesarias para evaluar la calidad de los tensores obtenidos en técnicas de inversión.
- 6:** Es capaz de identificar un patrón de perturbación de esfuerzos dentro de un campo regional.
- 7:** Conoce y valora las implicaciones de los paleoesfuerzos en el campo de la geología aplicada.

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

En esta asignatura se pretende que los estudiantes complementen su formación de licenciatura/grado en geología estructural y análisis estructural. Adquirirán competencias en el campo de la reconstrucción de estados y campos de esfuerzos del pasado a partir del estudio y análisis de estructuras geológicas frágiles, y conocerán los campos de aplicación que estos conocimientos poseen. Para conseguir estos objetivos se estudiarán los métodos y técnicas de análisis de paleoesfuerzos a partir de diferentes tipos de estructuras tectónicas y de las aplicaciones que éstos tienen en la interpretación tectónica y geodinámica, así como en sismotectónica e ingeniería geológica.



---

## Contexto y competencias

---

### Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

**La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:**

La investigación en tectónica, neotectónica, paleosismología y disciplinas afines requiere a menudo la evaluación del campo

de esfuerzos responsable de la formación de determinadas estructuras. En un campo más directamente aplicado, trabajos de ingeniería geológica, caracterización de macizos rocosos (p.e. para perforación de túneles semiprofundos) se ven facilitados por un conocimiento del campo de esfuerzos pasado. En esta asignatura el estudiante aprenderá los principales métodos de obtención de resultados en términos de paleoesfuerzos de una forma crítica y combinada, apreciando la sinergia resultante de aplicar aproximaciones de diferente índole a un mismo problema.

## **Contexto y sentido de la asignatura en la titulación**

Esta asignatura permite al alumno del Máster de Iniciación a la Investigación en Geología obtener una formación específica en los métodos de trabajo empleados en estudios de paleoesfuerzos, línea de investigación que se contempla dentro del grupo de investigación consolidado GEOTRANSFER, reconocido por el Gobierno de Aragón. Se trata por lo tanto de una asignatura que permite al alumno especializarse en este campo de conocimiento, perfectamente delimitado y para aquellos alumnos que quieran continuar sus estudios realizando una tesis doctoral sobre temas afines, supone sentar las bases para abordar este objetivo con la formación adecuada.

## **Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...**

- 1:** Planificar, en función del contexto geológico y de los objetivos concretos planteados, la estrategia de campo más apropiada.
- 2:** Seleccionar las técnicas analíticas más apropiadas dependiendo del tipo de estructura estudiada.
- 3:** Validar e interpretar los resultados y relacionarlos con el contexto tectónico de la zona objeto de estudio.

## **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

Permite profundizar en contenidos ya introducidos en algunas asignaturas de grado y añade nuevos conceptos, técnicas y habilidades a su bagaje profesional. Dado el enfoque práctico de la asignatura, capacita al estudiante para poder abordar estudios de índole variada que requieran análisis de paleoesfuerzos.

---

## **Evaluación**

---

### **Actividades de evaluación**

#### **El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación**

- 1:** Evaluación continuada, a partir de la resolución de ejercicios prácticos planteados durante las sesiones presenciales, que serán valorados mediante entrega de un breve informe de resultados. La valoración obtenida en esta actividad, mediante media aritmética de las calificaciones obtenidas, supondrá el 45% de la calificación de la asignatura.
- 2:** EL proceso de evaluación continua culmina con la elaboración de un trabajo práctico, individual, en el que se describan los datos tomados en las sesiones de campo, se plasmen los resultados de su análisis de paleoesfuerzos, su interpretación contextualizada y las conclusiones generales a las que se llegue. La valoración obtenida en esta actividad supondrá el 55% de la calificación de la asignatura.
- 3:** Cada uno de los ejercicios o trabajos evaluados se calificará de 0 a 10, entendiéndose superado con una calificación igual o superior a 5 puntos. No obstante, se considerará la calificación global, obtenida aplicando las proporciones indicadas, como indicador de la consecución en conjunto de los resultados de aprendizaje

previstos para esta asignatura.

**4:**

El estudiante que en la primera convocatoria no opte por la evaluación continua o que no supere la asignatura por este procedimiento o que quisiera mejorar su calificación deberá realizar una prueba global, que consistirá en el análisis de un caso práctico con el ordenador, y la interpretación/valoración de los resultados obtenidos, a partir de datos de fallas y diaclasas proporcionados por el profesor. Esta prueba se realizará en cada una de las convocatorias a las que tengan derecho los estudiantes, en las fechas asignadas por la Facultad de Ciencias y publicadas en su página Web. La convocatoria especificando la hora y lugar de realización de la prueba se publicará en el tablón de anuncios del Área de Geodinámica Interna (2ª planta del Edificio C de Ciencias).

La segunda convocatoria de evaluación se llevará a cabo mediante una prueba global, como la descrita en el párrafo anterior, realizada en el periodo establecido al efecto por el Consejo de Gobierno en el calendario académico y cuya convocatoria especificando la hora y lugar de realización de la prueba se publicará en el tablón de anuncios del Área de Geodinámica Interna (2ª planta del Edificio C de Ciencias).

---

## Actividades y recursos

---

### Presentación metodológica general

**El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:**

Dado el enfoque esencialmente metodológico de esta asignatura, las actividades de aprendizaje diseñadas intentan equilibrar los contenidos teóricos con su aplicación práctica y están orientadas específicamente a que el alumno adquiera las bases para poder desarrollar un trabajo de investigación que implique la obtención en campo de datos de estructuras frágiles, el análisis de los mismos y la interpretación de los resultados en un marco regional amplio que incluya la determinación de un campo regional y la caracterización de sus perturbaciones.

### Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)

**El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...**

**1:**

Conocimiento y adquisición de la metodología de trabajo. Metodología: **clases magistrales participativas**, Clases teóricas (12 horas): para cada uno de los temas tratados, se realizará una exposición de los contenidos teóricos fundamentales, pasando después a la aplicación de dichos contenidos a casos reales, bien de elaboración propia o publicados en materiales de referencia, motivando al estudiante a valorar su grado de comprensión de la materia mediante el análisis de dichos casos. El temario a abordar incluye:

- Repaso de teoría de esfuerzos, el tensor de esfuerzos, círculo de Mohr
- Métodos de análisis de paleoesfuerzos a partir de poblaciones de fallas. Criterios de calidad y fiabilidad de las soluciones
- Métodos de análisis de paleoesfuerzos a partir de otras estructuras: diaclasas, lineaciones de presión-disolución, maclas de calcita. Cálculo de valores absolutos de los esfuerzos principales
- Reconstrucción de campos de esfuerzos. Perturbaciones espaciales y evolución temporal. Escalas de heterogeneidad de esfuerzos
- Aplicaciones en interpretación tectónica y geodinámica. Campos de esfuerzos y cinemática de cabalgamientos
- Esfuerzos recientes, actuales y residuales. Aplicaciones en sismotectónica e ingeniería geológica

**2:**

**Prácticas de gabinete** (16 horas): Incluyen sesiones prácticas con ordenador, en las que se trabajará con programas y procedimientos de análisis poblacional de fallas, estudio estadístico de diaclasas y otras estructuras. Se desarrollan las siguientes sesiones, de dos horas de duración:

1. Análisis de diaclasas, representación de datos direccionales, medias rodantes. Interpretación dinámica.

2. Elaboración de un ejemplo de estudio regional, problemas encontrados, soluciones tácticas para la toma de datos.
3. Análisis de estilolitos y grietas de extensión. Medidas de lineaciones presión -disolución en cantos estriados y análisis.
4. Medidas de lineaciones presión - disolución en cantos estriados, métodos y problemas habituales en la toma de de datos.
5. Análisis y discusión de los datos tomados en la sesión previa.
6. Análisis poblacional de fallas, los métodos geométrico - cinemáticos.
7. Análisis poblacional de fallas, métodos basados en la ecuación de Bott: diagrama y-R.
8. Análisis poblacional de fallas, métodos basados en la ecuación de Bott: método de Etchecopar parte I.
9. Análisis poblacional de fallas, métodos basados en la ecuación de Bott: método de Etchecopar parte II.
10. Estudio de casos regionales: campos de esfuerzos vs. perturbaciones de esfuerzos.

## Planificación y calendario

### Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

#### 4 créditos ECTS:

- Horas de teoría: 12
- Horas de prácticas (Gabinete/Problemas): 16
- Horas de prácticas de Campo: 12
- Horas otros (Trabajo personal): 60
- Total horas: 100

El horario previsto será:

**Sesiones de teoría:** Martes de 11.00 a 13.00

**Sesiones de prácticas:** Miércoles de 16.00 a 18.00

Lugar de impartición:

Las sesiones de teoría se impartirán en el *Seminario 19* (Planta 2 del Edificio C).

Las sesiones de prácticas se impartirán en el *Laboratorio 21 del Área de Geodinámica* (Planta 2 del Edificio C).

Presentación de trabajos:

Fecha tope para la entrega del informe final: 31 de Enero de 2014.

## Recursos

### Bibliografía

Angelier, J. (1994) Fault slip análisis and paleostress reconstruction. En P. Hancock (ed.) Continental deformation, Pergamon Press, 53-100.

Angelier, J. y Mechler, P. (1977) Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. Bull. Soc. Geol. Fr. 19, 1309-1318.

Arlegui, L.E. y Simón, J.L. (1998) Reliability of palaeostress analysis from fault striations in near multidirectional extension stress fields. Example from the Ebro basin, Spain. J. Struct. Geol. 20, 827-840.

Arlegui, L.E. y Simón, J.L. (2001) Geometry and distribution of regional joint sets in a non- homogeneous stress field: case study in the Ebro basin (Spain). J. Struct. Geol. 23, 297-313.

Arthaud, F. y Mattauer, M. (1969) Exemples de stylolites d'origine tectonique dans le Languedoc, leurs relations avec la tectonique cassante. Bull. Soc. géol. France 7, 738-744.

Casas, A.M., Gil, I. y Simón, J.L. (1990) Los métodos de análisis de paleoesfuerzos a partir de poblaciones de fallas: sistemática y técnicas de aplicación. *Estudios geol.* 46, 385-398.

Etchecopar, A., Vasseur, G. y Daignières, M. (1981) An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis. *J. Struct. Geol.* 3, 51-65.

Hippolyte, J.C. (2001) Palaeostress and neotectonic analysis of sheared conglomerates: Southwest Alps and Southern Apennines. *J. Struct. Geol.* 23, 421-429.

Homberg, C., Hu, J.C., Angelier, J., Bergerat, F. y Lacombe, O. (1997) Characterization of stress perturbations near major fault zones: Insights from 2-D distinct-element numerical modelling and field studies (Jura mountains). *J. Struct. Geol.* 19, 703-718.

Lisle, R.J. (1988) ROMSA: a Basic program for paleostress analysis using fault-striation data. *Computers & Geosciences* 14, 255-259.

Liu, X. (1983) Perturbations de contraintes liées aux structures cassantes dans les calcaires fins du Languedoc. Observations et simulations mathématiques. Thèse IIIème Cycle, U.S.T.L. Montpellier, 152 pp.

Orife, T. y Lisle, R.J. (2005) Assessing the statistical significance of palaeostress estimates: Simulations using random fault-slips. *J. Struct. Geol.*, en prensa.

Ramsay, J.G. y Lisle, R.J. (2000) The techniques of modern Structural Geology. Volume 3: Applications of continuum mechanics in Structural Geology. Academic Press, London, pp. 701-1061.

Simón, J.L. (1986) Analysis of a gradual change in stress regime (example from the eastern Iberian Chain, Spain). *Tectonophysics* 124, 37-53.

Taboada, A. (1993) Stress and strain from striated pebbles. Theoretical analysis of striations on a rigid spherical body linked to a symmetrical tensor. *J. Struct. Geol.* 15, 1315-1330.

Zoback, M.L. (1992) First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project. *J. Geophys. Res.* 97, 11703- 11728.

## Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- Angelier, J.. Fault slip analysis and palaeostress reconstruction. Pergamon Press
- Angelier, J.. Sur une methode graphique de recherche des contraintes principales... En : Bulletin de la Société Géologique de France. v.19, serie 7<sup>a</sup>, 1977, p.1309-1318 . Paris : Société Géologique de France, 1830- [Publicación periódica]
- Arlegui, J.. Geometry and distribution of regional joint sets in a... En : Journal of structural geology. v.23, nº 2-3, Febrero 2001, p.297-313 . Oxford ; New York : Pergamon Press, 1979- [Publicación periódica]
- Arlegui, L. Reliability of palaeostress analysis from fault striations... En: Journal of structural geology. v.20, nº7, Julio 1998, p.827-840. Oxford ; New York : Pergamon Press, 1979- [Publicación periódica]
- Arthaud, F.. Exemples de stylolites d'origine tectonique dans le Languedoc... En : Bulletin de la Société Géologique de France. v.7, serie 7<sup>a</sup>, 1969, p.738-744 . Paris : Société Géologique de France, 1830- [Publicación periódica]
- Casas, A.M.. Los métodos de análisis de paleoesfuerzos a partir de poblaciones de fallas... En : Estudios Geológicos.v.46, p.385-398, 1990 . Madrid : Instituto de Investigaciones Geológicas Lucas Mallada, 1945- [Publicación periódica]
- Etchecopar, A.. An inverse problem in micortectonics... En : Journal of structural geology v.3, p.51-65, 1981 . Oxford ; New York : Pergamon Press, 1979- [Publicación periódica]
- Hippolyte, J.C.. Palaeostress and neotectonic analysis of sheared conglomerates... En : Journal of structural geology. v.23, nº2-3, Febrero 2001, p.421-429 . Oxford ; New York : Pergamon Press, 1979- [Publicación periódica]
- Homberg, C.. Characterization of stress perturbations near major. En : Journal of structural geology. v.19, nº5, Mayo 1997, p.703-718 . Oxford ; New York : Pergamon Press, 1979- [Publicación periódica]
- Languedoc. Observations et simulations mathématiques. - U.S.T.L. Montpellier
- Liu, X. Perturbations de contraintes liées aux structures cassantes...1983. U.S.T.L. Montpellier
- Orife, T.. Assessing the statistical aignificance of palaeostress estimates. En : Journal of structural geology. Vol.28, nº6, Junio 2006, Pag. 952-956. Oxford ; New York : Pergamon Press, 1979- [Publicación periódica]
- Ramsay, John G.. The techniques of modern structural geology. Vol. 3, Applications of continuum mechanics in structural geology / John G. Ramsay, Richard J. Lisle San Diego [etc.] : Academic Press, 2000
- Simon, J.L.. Analysis of a gradual change in stress regime... En : Tectonophysics : international journal of geotectonics and the geology and physics of the interior of the earth. v.124, p.37-53, 1986. Amsterdam : Elsevier Scientific, 1964- [Publicación periódica]
- Taboada, A.. Stress and strain from striated pebbles... En : Journal of structural geology. v.15, nº11, Noviembre 1993, p.1315-1330 . Oxford ; New York : Pergamon Press, 1979- [Publicación periódica]
- Zoback, M.L.. First-and second-order patterns of stress in the lithosphere... En : Journal of geophysical research. Serie B,

v.97, nº8, 1992, p.11703-11728. Washington D.C. : American Geophysical Union, 1896- [Publicación periódica]