



Propuesta de Materia de Postgrado

Tema: *Teoría y Modelos de Física de Rocas*

Docente responsable: Dra. Claudia L. Ravazzoli

Introducción y Objetivos

Como es sabido, la naturaleza multifásica y heterogénea de las rocas así como la distribución de fluidos en la micro y meso-escala tiene influencia sobre su comportamiento mecánico a escalas mayores, lo que afecta la propagación de las ondas que viajan en dichos medios. En tal sentido, la mejora en la calidad de adquisición y procesamiento de los datos ha permitido observar la sensibilidad de las velocidades de onda y otros atributos respecto de parámetros críticos en rocas de interés exploratorio, tales como porosidad, litología, cementación, tipo de fluido poral, estado de saturación, presión poral y de confinamiento, contenido orgánico, etc. Puesto que la Física de Rocas establece vinculaciones cuantitativas entre tales parámetros y las observaciones geofísicas, es una disciplina de gran relevancia, particularmente debido a la creciente complejidad de los objetivos tanto exploratorios como de monitoreo. Esto es de importancia en la detección y producción de hidrocarburos y en la caracterización de reservorios y rocas en general.

En este contexto, como objetivo general del curso, se espera que los alumnos avancen en la comprensión de las relaciones existentes entre la respuesta sísmica y acústica de las rocas y los parámetros físicos de los sólidos y los fluidos que los componen. a través de diferentes parametrizaciones, modelos teóricos y relaciones empíricas.

Destinatarios

Se espera que este curso sea válido como actividad de postgrado para los alumnos del Doctorado en Geofísica de esta Facultad y profesionales de carreras afines con conocimientos de mecánica de medios continuos, métodos sísmicos y acústicos y conceptos de exploración geofísica.

Duración y Carga horaria

La duración estimada de la materia será de 4 meses, con clases teórico-prácticas. Además, en la medida de las posibilidades, se espera realizar visitas al laboratorio de rocas de YPF Tecnología o de empresas afines. La carga horaria se estima en unas 75 hs.

Modalidad de aprobación

Para la aprobación se requerirá asistencia a clases, realización de trabajos teórico-prácticos y examen final.



Contenidos Generales

1. Introducción general. La Física de Rocas como componente de las Geociencias. Sus objetivos y utilidad. Modelos conceptuales para las rocas. Descripción mediante la hipótesis de medio continuo. Definición y significado de volumen representativo elemental.

2. Generalidades de los medios continuos deformables. Conceptos de la teoría de la elasticidad lineal y relaciones constitutivas. Revisión de módulos elásticos y su significado. Ecuaciones de propagación de ondas. Modos y velocidades de propagación.

3. Teorías de *medio elástico efectivo*. Definiciones y criterios. Módulos de Voigt, Reuss y su interpretación como cotas. Promedio de Hill. Fórmula de Wood. Medio compuesto con rigidez uniforme. Cotas de Hashin-Shtrikman. Modelo de Kuster y Toksöz. Efectos de escala en las velocidades y su relación con los regímenes de scattering. Límites de onda larga y de teoría rayos. Conceptos sobre física de rocas digital y su formulación.

4. Introducción al *comportamiento viscoelástico* y fenómenos de relajación. Características. Modelos mecánicos elementales y combinaciones. Relaciones de Kramers-Krönig y causalidad.

5. *Propagación de ondas en medios viscoelásticos* y disipativos en general. Ondas homogéneas e inhomogéneas. Pérdidas de energía y parámetros de atenuación. Dispersión de velocidades.

6. *La roca como medio poroso saturado*. Propiedades petrofísicas. Matriz y espacio poral. Porosidad, definiciones, medición y clasificación. Permeabilidad absoluta. Ley de Darcy. Relaciones entre porosidad y permeabilidad. Relación de Kozeny-Carman.

7. *Poroelasticidad y poromecánica*. Conceptos y definiciones. Teoría de Gassmann y compresibilidades asociadas. Experimentos poroelásticos ideales. Ecuación inversa. Aplicación al problema de sustitución de fluidos.

8. *Propagación de ondas en medios poroelásticos*. Teoría de Biot. Modos de propagación y sus características en diferentes rangos de frecuencia. Ondas compresionales lentas y su relación con los procesos de difusión de presión. Atenuación intrínseca y mesoscópica en medios porosos heterogéneos.

9. *Relaciones empíricas* entre módulos elásticos, velocidades y porosidad. Modelos de Porosidad Crítica, de Krief et al., ecuación de tiempo promedio de Wyllie et al. y ecuación de Raymer et al. Influencia del contenido de arcillas.

10. Conceptos de *presión efectiva*. Presión de confinamiento y presión de diferencial. Leyes de presión efectiva. Presión normal y geopresión en rocas reservorio. Efectos sobre las propiedades elásticas y petrofísicas de las rocas.

11. Los *fluidos del reservorio* y sus propiedades físicas. Revisión de ecuaciones de estado para gases reales biparamétricas. Utilización para cálculos de densidad y compresibilidad vs. temperatura y presión. Relaciones semi-empíricas de Batzle-Wang para petróleo, agua de formación y gases de hidrocarburos. Efecto de gas en disolución.



Bibliografía

- Avseth P., Mukerji T. and Mavko G., 2005. Quantitative seismic interpretation: applying rock physics tools to reduce interpretation risk. Cambridge University Press.
- Batzle M. and Wang Z., 1992. Seismic properties of pore fluids. *Geophysics*, 57, 1396-1408.
- Biot, M.A. 1962. Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media. *J. Appl. Physics*, 33, 1482-1498.
- Bourbié, T., Coussy, O. y Zinszner, B., 1987. Acoustic of porous media. Institut Francais du Pétrole Publications (IFP).
- Carcione, J. M., 2007. Wave fields in real media: wave propagation in anisotropic, anelastic, porous and electromagnetic media (2nd. Ed.). Pergamon.
- Dvorkin, J. M. Gutierrez, D. Grana, 2014. Seismic reflections of rock properties. Cambridge.
- Dutta, N.C. (Ed.) Geopressure, Geophysics Reprint Series # 7, Society of Exploration Geophysics, (1987).
- Dutta, N.C. 2002. Geopressure prediction using seismic data: Current status and the road ahead. *Geophysics*, 67(6), 2012-2041.
- Gassmann F., 1951. Über die elastizität poroser medien. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gessellshaft in Zurich*, 96, 1-23.
- Karato S., 2008. Deformation of Earth materials: An Introduction to the Rheology of Solid Earth. Cambridge University Press.
- Krief, M., Garat, J., Stellingwerff, J., and Ventre, J., 1990. A petrophysical interpretation using the velocities of P and S waves (full-waveform sonic). *Log Analyst*, 31, 355-369.
- Mavko, G., Mukerji, T. and Dvorkin, J., 2009. The rock physics handbook (2nd. Ed.). Cambridge University Press.
- McCain Jr., W., 1990, The properties of petroleum fluids, Penn Well Books, Tulsa, Ok.
- Rasolofosaon P. and B. Zinszner, 2014. Petroacoustics: a tool for applied seismics, IFP Energies Nouvelles. DOI: <https://doi.org/10.2516/ifpen/2014002>
- Ravazzoli C.L., 1995. Modelado de fenómenos de propagación de ondas en medios disipativos. Tesis Doctoral, F.C.A.G.
- Raymer, L.L., Hunt, E.R., and Gardner, J.S., 1980. An improved sonic transit time-to-porosity transform. *Trans. Soc. Prof. Well Log Analysts*, 21st Annual Logging Symposium, Paper P.
- Schön, J.H., 2011. Physical Properties of Rocks: a workbook. Handbook of Petroleum and Exploration and Production, vol. 8, Elsevier.
- Tiab, D. and E.C. Donaldson, 2012. Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties, (3rd edition), 2012. Gulf Professional Publishing, Elsevier.
- Vernik, L., 2016. Seismic Petrophysics in Quantitative Interpretation Investigations in Geophysics Series No. 18, Society of Exploration Geophysicists.
- Wyllie, M. R. J., Gregory, A.R., and Gardner, G. H. F., 1958. An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. *Geophys.*, 23, 459-493.
- Zimmerman, R.W., 1991. Compressibility of sandstones. Elsevier.