



PROGRAMA DE LA ASIGNATURA
SEMINARIO DE GRADO
Física de Rocas: Modelos y Aplicaciones

CARRERA: GEOFÍSICA.

CARGA HORARIA SEMANAL: 2 HORAS DE TEORÍA Y 2 HORAS DE PRÁCTICA

CARÁCTER: SEMESTRAL.

PROFESOR A CARGO: DRA. CLAUDIA L. RAVAZZOLI,
DR. GUIDO PANIZZA.

OBJETIVOS

La Física de Rocas es la ciencia que estudia la relación entre las propiedades físicas de las rocas y las observaciones geofísicas. La naturaleza multiminerálica y heterogénea de las rocas así como la distribución de fluidos en la micro y meso-escala tienen influencia sobre sus propiedades y comportamiento a escalas mayores, lo que afecta la propagación de las ondas que viajan en dichos medios. Por lo tanto, esta disciplina busca establecer parametrizaciones adecuadas, modelos teóricos y relaciones empíricas entre los parámetros y las observaciones.

Con dichas motivaciones se espera analizar, discutir y profundizar con los alumnos sobre :

- Los diferentes módulos elásticos en rocas reales, su significado y estimación.
- Cuáles de ellos pueden determinarse a partir de las velocidades de propagación de las ondas elásticas.
- El efecto de la presión efectiva sobre las velocidades.
- La influencia de los fluidos saturantes sobre las velocidades y otras magnitudes.
- Como afecta la litología y el grado de cementación a los módulos y velocidades elásticas.
- El efecto de la frecuencia de medición.

Se espera que este Seminario resulte provechoso para alumnos interesados en profundizar su formación en el campo de la Geofísica teórica y aplicada, tanto con objetivos académicos como para su inserción en la industria.

CONTENIDO TEMÁTICO

1. Introducción general. La Física de Rocas como componente de las Geociencias. Sus objetivos y su rol en la industria e investigación. Modelos empíricos o heurísticos: Leyes de velocidad. Relaciones $V_p - V_s$. 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 para medios isótropos. Revisión de módulos elásticos y su significado. Ecuaciones de propagación de ondas. Ondas internas, velocidades de propagación y relaciones entre velocidades de ondas y módulos elásticos.

3. Teorías de medios elásticos efectivos. Definiciones y criterios.

- Módulos de Voigt, Reuss y su interpretación como cotas. Promedio de Hill. Fórmula de Wood. Cotas de Hashin-Shtrikman-Walpole. Medio compuesto con rigidez uniforme.

- Módulos efectivos en medios estratificados: promedio de Backus. Efectos de escala: límites de onda larga y onda corta.

- Modelos de inclusiones: modelo de Kuster y Toksöz. Modelo de Mori-Tanaka.
 - Medios granulares: modelo de Hertz-Mindlin, modelos *Cemented Sand*, *Uncemented Sand*, *Stiff-Sand*, *Intermediate Stiff-Sand* y otros relacionados.
4. 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: ecuación analítica de Kozeny-Carman y otras. Relaciones semiempíricas de Batzle-Wang (1992) para la densidad, viscosidad e incompresibilidad del petróleo, agua de formación y gases de hidrocarburos. Efecto de gas en disolución.
 5. Efectos de los fluidos sobre las velocidades. Poroelasticidad y poromecánica. Teoría de Biot (1956, 1962): conceptos y definiciones. Variables y relaciones constitutivas. Teoría de Gassman (1951) y módulos de volumen asociados. Experimentos poroelásticos ideales y en el laboratorio. Sustitución de fluidos. Modelos empíricos para los módulos de la matriz: Modelo de Porosidad crítica, modelo de Krief et al. (1991).
 6. Efectos de la frecuencia de onda sobre las velocidades. Concepto de medio disipativo y sus causas físicas. Introducción al comportamiento viscoelástico. Dispersión y atenuación de velocidades de ondas en medios viscoelásticos. Velocidades de fase y de grupo. Ondas planas en medios de Biot: ondas compresionales rápidas, lentas y de corte. Mecanismos de dispersión y atenuación.
 7. Efectos de la presión sobre las velocidades. Presión de confinamiento, presión poral y presión diferencial. Presión normal y anormal. Presión efectiva y leyes. Relaciones empíricas de Eberhart-Phillips (1989). Porosidad dual: poros rígidos y dúctiles. Piezosensibilidad elástica (Shapiro, 2003).
 8. Física de rocas aplicada. Tendencias de compactación. Plantillas de física de rocas. Escalado de propiedades elásticas. Introducción a la anisotropía elástica. Inversión de propiedades petroacústicas. Mediciones acústicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Avseth P., Mukerji T. and Mavko G., 2005. Quantitative seismic interpretation: applying rock physics tools to reduce interpretation risk. Cambridge University Press.
2. Batzle M. and Wang Z., 1992. Seismic properties of pore fluids. *Geophysics*, 57, 1396-1408.
3. Biot, M.A. (1956) Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low frequency range, *J. Acoustical Soc. of America* 28, 168-178.
4. Biot, M.A., 1962. Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media. *J. Appl. Physics*, 33, 1482-1498.
5. Carcione, J. M., 2007. Wave fields in real media: wave propagation in anisotropic, anelastic, porous and electromagnetic media (2nd. Ed.). Pergamon.
6. Cheng, A. H. D., 2016. Poroelasticity, Springer International Publishing.
7. Dvorkin, J. M. Gutierrez, D.Grana, 2014. Seismic reflections of rock properties. Cambridge.
8. Dutta, N.C. 2002. Geopressure prediction using seismic data: Current status and the road ahead. *Geophysics*, 67(6), 2012-2041.
9. Eberhart-Phillips, D., Han, D.H., y Zoback, M. D., 1989. Empirical relationships among seismic velocity, effective pressure, porosity, and clay content in sandstone: *Geophysics*, 54, no. 1, 82-89.
10. Fjaer, E., Holt, R. M., Horsrud, P., & Raen, A. M., 2008. Petroleum related rock mechanics. Elsevier.
11. Gassmann F., 1951. Über die elastizität poroser medien. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zurich*, 96, 1-23.



12. 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.
13. Mavko, G., Mukerji, T. and Dvorkin, J., 1998 (1° Ed.) y 2020 (3°Ed.). *The Rock Physics Handbook*. Cambridge University Press.
14. Rasolofosaon P. and B. Zinszner, 2014. *Petroacoustics: a tool for applied seismics*, IFP Energies Nouvelles. DOI: <https://doi.org/10.2516/ifpen/2014002>
15. Ravazzoli C. L., 1995. *Modelado de fenómenos de propagación de ondas en medios disipativos*. Tesis Doctoral, F.C.A.G.
16. 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.
17. Schön, J.H., 2011. *Physical Properties of Rocks: a workbook*. Handbook of Petroleum and Exploration and Production, vol. 8, Elsevier.
18. Shapiro, S. A., 2003, Elastic piezosensitivity of porous and fractured rocks: *Geophysics*, 68, no. 2, 482–486.
19. Vernik, L., 2016. *Seismic Petrophysics in Quantitative Interpretation Investigations in Geophysics Series No. 18*, Society of Exploration Geophysicists.
20. 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.
21. Zimmerman, R.W., 1991. *Compressibility of sandstones*. Elsevier.