Introducción a la simulación de fluidos en medios porosos con Python

Dra. Gabriela Berenice Díaz Cortés

Mtra. Zoila Sánchez López

Instituto Mexicano del Petroleo Dirección de Investigación Gerencia de Ingeniería de Yacimientos

14 de agosto de 2024











Contenido:

- Introducción a la simulación de fluidos en medios porosos (simulación de yacimientos)
- Introducción a la programación en python
- Método de diferencias finitas
- Ejercicio práctico

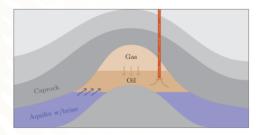


Yacimiento





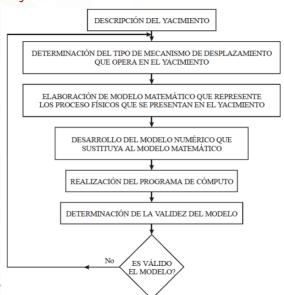
Un **yacimiento** es una unidad geológica de volumen limitado, poroso y permeable que contiene hidrocarburos en estado líquido y/o gaseoso [1].



La simulación de yacimientos es una ciencia que combina la física, la matemática, la geología, la ingeniería de yacimientos y la programación de computadores para desarrollar herramientas que pronostiquen el comportamiento de los yacimientos de hidrocarburos bajo diferentes condiciones de operación [2].











La información que se requiere para efectuar una simulación es:

Descripción física del yacimiento.





- Descripción física del yacimiento.
- Mecanismo o mecanismos de desplazamiento que operan en el yacimiento.





- Descripción física del yacimiento.
- Mecanismo o mecanismos de desplazamiento que operan en el yacimiento.
- Propiedades petrofísicas de las capas de interés.





- Descripción física del yacimiento.
- Mecanismo o mecanismos de desplazamiento que operan en el yacimiento.
- Propiedades petrofísicas de las capas de interés.
- Propiedades PVT de los fluidos.





- Descripción física del yacimiento.
- Mecanismo o mecanismos de desplazamiento que operan en el yacimiento.
- Propiedades petrofísicas de las capas de interés.
- Propiedades PVT de los fluidos.
- Otros datos.



Propiedades petrofísicas de los yacimientos





La porosidad se define como la relación entre el volumen poroso y el volumen total de la roca.



Propiedades petrofísicas de los yacimientos





La **porosidad** se define como la relación entre el volumen poroso y el volumen total de la roca.

La **permeabilidad** es la capacidad que tiene el medio poroso para permitir el flujo de fluidos.



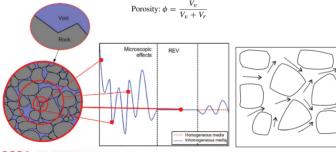
Propiedades petrofísicas de los yacimientos

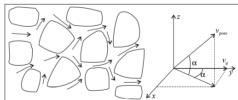




La **porosidad** se define como la relación entre el volumen poroso y el volumen total de la roca.

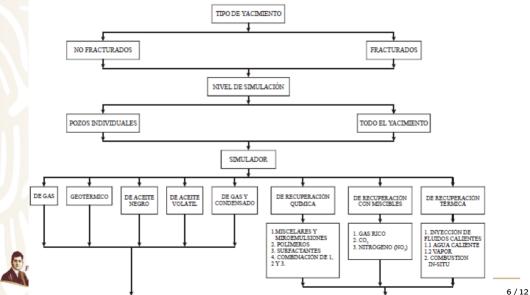
La **permeabilidad** es la capacidad que tiene el medio poroso para permitir el flujo de fluidos.





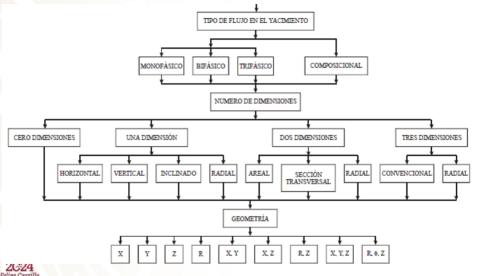
Tipos de simuladores





Tipos de simuladores





Modelo matemático



Ley de Darcy:

$$\mathsf{v}_{lpha} = -\lambda_{lpha} (
abla \mathsf{p}_{lpha} -
ho_{lpha} \mathsf{g}
abla \mathsf{d}).$$



Modelo matemático



Ley de Darcy:

$$\mathsf{v}_lpha = -\lambda_lpha (
abla \mathsf{p}_lpha -
ho_lpha \mathsf{g}
abla \mathsf{d}).$$

Ecuación de balance de masa,

$$\frac{\partial (\phi \rho_{\alpha} S_{\alpha})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_{\alpha} \mathsf{v}_{\alpha}) = \rho_{\alpha} \mathsf{q}_{\alpha}.$$



Modelo matemático



Ley de Darcy:

$$\mathsf{v}_lpha = -\lambda_lpha (
abla \mathsf{p}_lpha -
ho_lpha \mathsf{g}
abla \mathsf{d}).$$

Ecuación de balance de masa,

$$\frac{\partial (\phi \rho_{\alpha} S_{\alpha})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_{\alpha} \mathsf{v}_{\alpha}) = \rho_{\alpha} q_{\alpha}.$$

Fluid

Saturation

 $\lambda_{lpha}(S_{lpha}) = rac{ec{\mathsf{K}}_{k_{rlpha}}(S_{lpha})}{\mu_{lpha}}$ Mobility

 ho_{lpha} Density

 μ_{α} Viscosity

 p_{α} Pressure

Rock

 ϕ Porosity

 $\vec{\mathsf{K}}$ Permeability

 $k_{r\alpha}(S_{\alpha})$ Relative permeability Reservoir

d Depth

g Gravity

 q_{lpha} Sources





$$\mathsf{v}_{lpha} = -\lambda_{lpha} (
abla p_{lpha} -
ho_{lpha} \mathsf{g}
abla d), \qquad rac{\partial (\phi
ho_{lpha} \mathsf{S}_{lpha})}{\partial t} +
abla \cdot (
ho_{lpha} \mathsf{v}_{lpha}) =
ho_{lpha} \mathsf{q}_{lpha}.$$





$$\mathsf{v}_{lpha} = -\lambda_{lpha} (
abla p_{lpha} -
ho_{lpha} g
abla d), \qquad rac{\partial (\phi
ho_{lpha} \mathsf{S}_{lpha})}{\partial t} +
abla \cdot (
ho_{lpha} \mathsf{v}_{lpha}) =
ho_{lpha} q_{lpha}.$$

Compresible:

$$\phi(p) = \phi_0 \exp^{c_r(p-p_0)}, \qquad \rho(p) = \rho_0 \exp^{c_f(p-p_0)}$$





$$\mathsf{v}_lpha = -\lambda_lpha (
abla p_lpha -
ho_lpha \mathsf{g}
abla d), \qquad rac{\partial (\phi
ho_lpha \mathsf{S}_lpha)}{\partial t} +
abla \cdot (
ho_lpha \mathsf{v}_lpha) =
ho_lpha \mathsf{q}_lpha.$$

Compresible:

$$\phi(p) = \phi_0 \exp^{c_r(p-p_0)}, \qquad \rho(p) = \rho_0 \exp^{c_f(p-p_0)}$$

Ligeramente compresible:

$$\phi(p) = \phi_0 \exp^{c_r(p-p_0)} = \phi_0(1 - c_r(p-p_0))$$

$$\rho(p) = \rho_0 \exp^{c_f(p-p_0)} = \rho_0 (1 - c_f(p-p_0))$$





$$\mathsf{v}_lpha = -\lambda_lpha (
abla p_lpha -
ho_lpha \mathsf{g}
abla d), \qquad rac{\partial (\phi
ho_lpha \mathsf{S}_lpha)}{\partial t} +
abla \cdot (
ho_lpha \mathsf{v}_lpha) =
ho_lpha \mathsf{q}_lpha.$$

Compresible:

$$\phi(p) = \phi_0 \exp^{c_r(p-p_0)}, \qquad \rho(p) = \rho_0 \exp^{c_f(p-p_0)}$$

Ligeramente compresible:

$$\phi(p) = \phi_0 \exp^{c_r(p-p_0)} = \phi_0 (1 - c_r(p-p_0))$$
$$\rho(p) = \rho_0 \exp^{c_f(p-p_0)} = \rho_0 (1 - c_f(p-p_0))$$

• Incompresible: ϕ , ρ no dependen de la presión



$$- \nabla \cdot (
ho_{lpha} \lambda_{lpha} (
abla p_{lpha} -
ho_{lpha} g
abla d)) =
ho_{lpha} q_{lpha}.$$



Discretización de las ecuaciones:





Discretización de las ecuaciones:

- Diferencias finitas
- Elementos finitos
- Volumenes finitos





Discretización de las ecuaciones:

- Diferencias finitas
- Elementos finitos
- Volumenes finitos

Linealización (en caso de ser necesario):





Discretización de las ecuaciones:

- Diferencias finitas
- Elementos finitos
- Volumenes finitos

Linealización (en caso de ser necesario):

Método de Newton Raphson





Discretización de las ecuaciones:

- Diferencias finitas
- Elementos finitos
- Volumenes finitos

Linealización (en caso de ser necesario):

Método de Newton Raphson

Solución del sistema lineal:







- Diferencias finitas
- Elementos finitos
- Volumenes finitos

Linealización (en caso de ser necesario):

Método de Newton Raphson

Solución del sistema lineal:

- Métodos directos
- Métodos iterativos
- Métodos iterativos del subespacio de Krylov (precondicionadores)





Dudas?



Bibliografía





- [1] Escobar, Freddy. "Fundamentos de ingeniería de yacimientos. Üniversidad Sur colombiana. Neiva (2012).
- [2] GAONA, J. A. S., & MACUALO, F. H. E. SIMULACION DE YACIMIENTOS: Principios, Conceptos y Construcción de Mallas. J.D. Jansen: A systems description of flow through porous media. Springer (2013)
- [3] K. Aziz and A. Settari: Petroleum reservoir simulation. Chapman & Hall (1979)
- [4] Saad, Y.: Iterative Methods for Sparse Linear Systems., 2nd edn. Society for Industrialand Applied Mathematics Philadelphia, PA, USA. SIAM (2003)
- [5] H.A. Van der Vorst: Iterative Krylov methods for large linear systems, vol. 13. Cambridge University Press (2003)
- [6] H.A. Van der Vorst, C. Dekker: Conjugate gradient type methods and preconditioning, Journal of Computational and Applied Mathematics, 73–87 (1988)

