



# Planificaciones

7624 - Fund. de la Sim. Numérica de Reservorio

Docente responsable: SAVIOLI GABRIELA BEATRIZ

## OBJETIVOS

- Analizar las ecuaciones básicas que rigen el flujo de fluidos en medios porosos.
- Estudiar la solución aproximada de dichas ecuaciones aplicando técnicas de diferencias finitas. Implementar ejemplos simplificados.
- Comprender los alcances y limitaciones de un simulador numérico y su aplicación al gerenciamiento de reservorios.
- Operar un simulador tridimensional trifásico del tipo "Black-Oil": análisis de los datos de entrada e interpretación de los resultados.

## CONTENIDOS MÍNIMOS

-

## PROGRAMA SINTÉTICO

- I. Introducción.
- II. Ecuaciones diferenciales de flujo en reservorios.
- III. Aproximación de ecuaciones diferenciales por diferencias finitas.
- IV. Tipos de Grillas.
- V. Simulación numérica del flujo monofásico de petróleo hacia un pozo productor. Aplicación a la interpretación de ensayos de pozo.
- VI. Simulación numérica del flujo bifásico agua-petróleo. Aplicación a la recuperación secundaria de petróleo.
- VII. Modelo Black-Oil trifásico tridimensional - Simulador BOAST.

## PROGRAMA ANALÍTICO

### I-Introducción

Fundamentos físicos e ingenieriles. Simulación: modelos Físico-experimental y Físico-matemático. Construcción del simulador numérico: planteo y resolución del sistema de ecuaciones diferenciales. Uso del simulador numérico: adaptación al reservorio real (datos), ajuste de la historia de producción (history-matching) y predicción del comportamiento futuro.

### II. Ecuaciones diferenciales de flujo en reservorios.

Ley de conservación de masa y ley de Darcy. Ecuaciones de estado. Ecuaciones básicas de flujo monofásico y multifásico. Flujo con transferencia de masa. Modelo Composicional. Modelo Black-Oil.

### III. Aproximación de ecuaciones diferenciales por diferencias finitas.

Cocientes de diferencias de primer orden. Cocientes de diferencias de segundo orden. Precisión de la aproximación. Aplicación al flujo monofásico lineal unidimensional: resolución de un problema parabólico. Esquemas explícitos e implícitos. Método de Crank-Nicolson. Solución de sistemas tridiagonales: Algoritmo de Thomas. Consistencia: error local de truncamiento. Estabilidad: método de von Neumann y método matricial. Convergencia: teorema de equivalencia de Lax.

### IV. Tipos de Grillas.

Grilla de bloques centrados. Grilla de puntos centrados. Comparación de los tipos de grillas. Aplicación a las distintas condiciones de contorno: de 1º Tipo (Dirichlet), de 2º Tipo (Neumann), de 3º Tipo (combinación de las anteriores) y de 4º Tipo (cíclicas).

### V. Simulación numérica del flujo monofásico de petróleo hacia un pozo productor. Aplicación a la interpretación de ensayos de pozo.

Modelo geológico-geométrico. Modelo matemático: ecuación radial de difusividad. Soluciones analíticas simplificadas. Discretización por diferencias finitas. Principal aplicación: ensayos de pozo Draw-Down y Build-Up. Estimación de la permeabilidad y del factor de daño. Flujo monofásico de petróleo hacia un pozo en coordenadas cartesianas. Modelo bidimensional areal. Discretización por diferencias finitas. Métodos iterativos de resolución de sistemas lineales: iterativos por punto: Point Jacobi; iterativos por Bloque: Block Jacobi, Block Gauss-Seidel, Block Successive Over Relaxation (SOR). Criterios de Convergencia de dichos métodos.

### VI. Simulación numérica del flujo bifásico agua-petróleo. Aplicación a la recuperación secundaria de petróleo.

Modelo matemático: sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales no lineales. Solución numérica del modelo unidimensional lineal. Método IMPES (IMplícito en Presiones y Explícito en Saturaciones). Evaluación de las transmisibilidades. Discretización de las condiciones de contorno. Criterio de Estabilidad de IMPES. Flujo bifásico (agua-petróleo) bidimensional areal. Representación de esquemas de inyección de cinco puntos. Solución numérica aplicando IMPES.

## VII. Modelo Black-Oil trifásico tridimensional - Simulador BOAST.

Ecuaciones diferenciales del Modelo Black-Oil. Resolución por diferencias finitas aplicando el método IMPES. Descripción del SIMULADOR BOAST: Grilla. Discretización de las ecuaciones diferenciales. Métodos de solución del sistema lineal de ecuaciones. Modelos de pozos: cálculo de parámetros, especificación de caudales, especificación de presiones, tratamiento explícito e implícito de las presiones. Uso del SIMULADOR BOAST: Estructura del programa. Datos de Entrada. Tópicos Especiales. Resolución de casos prácticos aplicando el simulador. Selección y análisis de datos. Evaluación de resultados. Introducción al uso de otros simuladores. Ejemplos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aziz, K. and Settari, A., 1985. Petroleum Reservoir Simulation, Elsevier Applied Science Publishers, Great Britain.
2. Bidner M. S. y Gabbanelli S. C., 1986. "Simulación Numérica de procesos convencionales de recuperación de petróleo. Una revisión". Latin American Journal of Heat and Mass Transfer., Vol. 10, pp. 131-154.
3. Bidner M. S., 2001. Propiedades de la roca y los fluidos en reservorios de petróleo. Eudeba (Editorial de la Universidad de Buenos Aires), Argentina.
4. Breitenbach, E. A., 1991. "Reservoir Simulation: State of the Art". Journal of Petroleum Technology, Vol. 43 (9), pp. 1033-1036.
5. Coats, K. H., 1969. "Use and Misuse of Reservoir Simulation Models", Journal of Petroleum Technology, pp. 183-190.
6. Coats, K.; Thomas, L. and Pierson, R., 1998 "Compositional and Black Oil Reservoir Simulation", Society of Petroleum Engineers Reservoir Evaluation & Engineering, Vol. 1(4), pp. 372-379.
7. Fanchi, J. R., 1997. Principles of Applied Reservoir Simulation. Gulf Professional Publishing Company, Houston, Texas.
8. Fanchi, J. R.; Harpole, K. J. and Bujnowski, S. W., 1982. BOAST - A Three-Dimensional, Three-Phase Black Oil Applied Simulation Tool. U.S. Department of Energy Report DOE/BC/10033-3, two volumes.
9. Gabbanelli, S. C.; Mezzatesta, A. G. and Bidner, M. S., 1982. "One-dimensional numerical simulation of waterflooding an oil reservoir". Latin American Journal of heat and mass transfer, Vol. 6, pp.251-273.
10. Jacovkis, P. M.; Savioli, G. B. and Bidner, M. S., 1999. "Mathematical modeling of flow towards an oil well". International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 46, pp.1521-1540, John Wiley & Sons Ltd, New York.
11. Peaceman, D., 1977. Fundamentals of Numerical Reservoir Simulation. Elsevier, New York .
12. Savioli G. B., Goldschmit M. B. y Bidner M. S., 1988. "Discusión sobre las soluciones analíticas y numéricas de la ecuación radial de difusividad que representa el flujo en medios porosos". Revista Brasileira de Engenharia, Vol. 5 (2) , pp. 65-79.
13. Savioli, G. B. y Bidner, M. S., 1994. "Aplicación del método inverso al análisis de ensayos de pozos petrolíferos". Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Vol. 10(1), pp. 3-21.
14. Savioli, G. B.; Jacovkis, P. M. and Bidner, M. S., 1997. "Stability Analysis and Numerical Simulation of 1-D and 2-D Radial Flow Towards an Oil Well". Computers & Mathematics with Applications, Vol.33(3), pp. 121-135.
15. Smith, G. 1987. Numerical Solution of Partial Differential Equations, 3rd. edition. Clarendon Press , Oxford.
16. Thomas, G. W., 1982. Principles of Hydrocarbon Reservoir Simulation. International Human Resources Development Corporation, Boston, USA.
17. Chen, Z., Huan, G. and Ma, Y., 2006. "Computational Methods for Multiphase Flows in Porous Media", Computational Science & Engineering, Vol. 2. Society for Industrial and Applied Mathematics.
18. Efendiev, Y. and Hou, T. Y., 2009. "Multiscale Finite Element Methods", Surveys and Tutorials in the Applied Mathematical Sciences, Vol. 4. Springer Verlag.
19. Savioli, G. B. and M. S. Bidner, "Simulation of the oil and gas flow toward a well - A stability analysis ", Journal of Petroleum Science & Engineering, Vol. 48, pp. 53-69, 2005.
20. Savioli, G. B. and Fernández Berdguer, E.M. "On the estimation of oil water displacement functions", Latin American Applied Research, Vol. 37, N° 3, pp. 187-194, Julio 2007.

## RÉGIMEN DE CURSADA

### Metodología de enseñanza

El curso se desarrolla en clases teórico-prácticas, con exposición oral del profesor utilizando proyección desde la computadora. Además, los alumnos realizan un importante trabajo personal de programación e implementación en computadora para resolver problemas de Ingeniería. Esto último necesita una fluida interacción docente-alumno.

### Modalidad de Evaluación Parcial

La evaluación es a través de 2 parcialitos y la entrega de los trabajos prácticos de la materia y de un trabajo

especial. Este último comprende: los fundamentos teóricos, el algoritmo de cálculo, el uso del programa y el análisis de datos y resultados. Se entregan por escrito y se exponen oralmente. Para evaluarlos se consideran: los conocimientos de los contenidos de la materia, la creatividad, la consistencia ingenieril de los datos y resultados y la aplicabilidad.

Hay fechas límites para la entrega de los trabajos especiales y su exposición oral satisfactoria. Hasta esas fechas, los alumnos pueden modificar los trabajos tantas veces como sean necesarias.

## CALENDARIO DE CLASES

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
<1> 09/03 al 14/03	Unidad I- Introducción					1, 4, 5, 7, 18
<2> 16/03 al 21/03	Unidad II - Ecuaciones diferenciales de flujo en reservorios. Ley de conservación de masa y ley de Darcy. Ecuaciones de estado. Ecuaciones básicas de flujo monofásico y multifásico.	Unidad II. Ecuaciones diferenciales de flujo en reservorios. Ley de conservación de masa y ley de Darcy. Ecuaciones de estado. Ecuaciones básicas de flujo monofásico y multifásico.				1, 3, 11, 16
<3> 23/03 al 28/03	Unidad II - Flujo con transferencia de masa. Modelo Black- Oil. Modelo Composiciona I.	Unidad II - Flujo con transferencia de masa. Modelo Black- Oil. Modelo Composiciona I.				1, 6, 11, 16
<4> 30/03 al 04/04	Unidad II - Repaso Unidad III. Aproximación de ecuaciones diferenciales por diferencias finitas. Cocientes de diferencias de primer orden. Cocientes de diferencias de segundo orden. Precisión de la aproximación.	Unidad II - Repaso Primer Parcialito				1, 11, 15, 16
<5> 06/04 al 11/04	Unidad III. Aplicación al flujo monofásico lineal unidimension al: resolución de un problema parabólico. Esquemas explícitos e implícitos. Método de Crank- Nicolson. Solución de sistemas tridiagonales- Algoritmo de Thomas.	Unidad III. Resolución de un problema parabólico. Esquemas explícitos e implícitos. Método de Crank- Nicolson. Solución de sistemas tridiagonales- Algoritmo de Thomas.				1, 11, 15, 16, 17
<6>	Unidad	Unidad		TP 1: Diferencias finitas:		1, 11, 15, 16, 17, 19

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
13/04 al 18/04	III.Consistencia: error local de truncamiento. Estabilidad: método de von Neumann y método matricial. Convergencia : teorema de equivalencia de Lax.	III.Consistencia: error local de truncamiento. Estabilidad: método de von Neumann y método matricial.		implementación de los esquemas implícito y explícito.		
<7> 20/04 al 25/04	Unidad III - Repaso Unidad IV. Tipos de Grillas.	Unidad III - Repaso				1, 11, 15, 16, 17, 19
<8> 27/04 al 02/05	Unidad V. Simulación numérica del Flujo Monofásico de Petróleo hacia un pozo productor. Aplicación a la interpretación de ensayos de pozo Modelo geológico-geométrico. Modelo matemático: ecuación radial de difusividad. Soluciones analíticas simplificadas. Discretización por diferencias finitas. Principal aplicación: ensayos de pozo Draw-Down y Build-Up. Estimación de la permeabilidad y del factor de daño.	Segundo Parcialito  Unidad III- Implementación de las técnicas estudiadas.				10, 12, 13, 14
<9> 04/05 al 09/05	Unidad V. Flujo monofásico de petróleo hacia un pozo en coordenadas cartesianas. Modelo bidimensional areal. Discretización por	Unidad IV - Implementación de las condiciones de contorno dependiendo del tipo de grilla. Unidad V. Implementación de un simulador numérico del		TP 2: Flujo monofásico de petróleo hacia un pozo productor.	Entrega TP 1.	10, 12, 13, 14

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	diferencias finitas.	Flujo Monofásico de Petróleo hacia un pozo productor.				
<10> 11/05 al 16/05	Unidad V. Métodos Iterativos de Resolución de Sistemas Lineales: Iterativos por punto: Point Jacobi; Iterativos por Bloque: Block Jacobi. Block Gauss-Seidel. Block Successive Over Relaxation (SOR). Criterios de Convergencia de dichos métodos.	Unidad V. Explicación del uso del Simulador BOAST - Aplicación de BOAST a la simulación del Flujo monofásico de petróleo hacia un pozo en coordenadas cartesianas con un modelo bidimensional areal.				1, 7, 8, 10, 14
<11> 18/05 al 23/05	Unidad V. Repaso	Unidad V - Repaso y Consultas				1, 9, 11, 16
<12> 25/05 al 30/05	Unidad VI. Simulación numérica del Flujo Bifásico Agua-Petróleo. Aplicación a la recuperación secundaria de petróleo. Modelo matemático: sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales no lineales. Solución numérica del modelo unidimensional al lineal. Método IMPES (Implícito en Presiones y Explícito en Saturaciones)	Unidad VI. Modelo matemático. Entrega del Segundo TP		TP 3: Flujo bifásico agua-petróleo.	Entrega TP 2.	1, 9, 11, 16, 20
<13> 01/06 al 06/06	Unidad VI. Simulación numérica del Flujo Bifásico Agua-Petróleo. Evaluación de las	Unidad VI. Simulación numérica del Flujo Bifásico Agua-Petróleo. Solución numérica del				1, 9, 11, 16, 20

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	transmisibilidades. Discretización de las condiciones de contorno. Criterio de Estabilidad de IMPES. Flujo bifásico (agua-petróleo) bidimensional areal. Representación de esquemas de inyección de cinco puntos. Solución numérica aplicando IMPES.	modelo unidimensional lineal. Método IMPES (Implícito en Presiones y Explícito en Saturaciones)				
<14> 08/06 al 13/06	Unidad VI - Repaso Unidad VII - Modelo Black-Oil trifásico-tridimensional - Simulador BOAST Ecuaciones diferenciales del Modelo Black-Oil. Resolución por diferencias finitas aplicando el método IMPES.	Unidad VI. Aplicación del simulador BOAST a la simulación del Flujo bifásico (agua-petróleo) bidimensional areal. Representación de esquemas de inyección de cinco puntos.				1, 2, 7, 8, 11, 16
<15> 15/06 al 20/06	Unidad VII - Descripción del SIMULADOR BOAST: Grilla. Discretización de las ecuaciones diferenciales. Métodos de solución del sistema lineal de ecuaciones. Modelos de pozos: cálculo de parámetros, especificación de caudales, especificación de presiones, tratamiento explícito e implícito de las presiones.	Unidad VI - Repaso y Consultas. Unidad VII - Repaso en el uso del simulador BOAST			Entrega TP 3.	1, 2, 7, 8, 11, 16, 19, 20
<16> 22/06 al 27/06	Unidad VII - Uso del SIMULADOR	Unidad VII - Uso del SIMULADOR		Trabajo Especial: Estudio del comportamiento de un reservorio.		1, 2, 7, 8, 11, 16, 19, 20

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	BOAST: Estructura del programa. Datos de Entrada. Tópicos Especiales. Resolución de casos prácticos aplicando el simulador. Selección y análisis de datos. Evaluación de resultados.	BOAST en casos prácticos. Selección y análisis de datos. Evaluación de resultados.				

## CALENDARIO DE EVALUACIONES

### Evaluación Parcial

Oportunidad	Semana	Fecha	Hora	Aula
1º	4	18/09	15:00	
2º	8	16/10	15:00	
3º	11	06/10	15:00	
4º				