

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO**

APUNTES DE CLASE

INGENIERIA DE RESERVORIOS



**EDICION 2006
EDICION REVISADA, ACTUALIZADA Y CORREGIDA**

LUCIO CARRILLO BARANDIARAN

CONTENIDO INGENIERIA DE RESERVORIOS

	<u>Página</u>
CAP I.- INTRODUCCION	4
CAP II .- DESCRIPCION DEL RESERVORIO	8
Propiedades ROCA – FLUIDO	9
Espesor Neto productivo	10
Porosidad	15
Permeabilidad	17
Permeabilidad Relativa	19
Presión Capilar	24
Mojabilidad	46
Histéresis	52
Saturación	53
Interfases en el Reservoirio	57
Relación entre propiedades petrofísicas	59
Relación entre K_r , P_c y S_w	60
Indice de Productividad	64
Propiedades de los Fluidos	68
Clasificación de los fluidos en el reservorio	68
Petróleo pesado	72
Petróleo liviano	74
Reservorios de Gas Condensado y Gas Seco	75
Agotamiento o Depletación de un reservorio	81
CAP III.- MECANISMOS DE IMPULSION DE LOS RESERVORIOS	82
Reservorios con impulsión por gas en solución	83
Reservorios con impulsión por agua	86
Reservorios con impulsión por capa de gas	89
Reservorios bajo segregación gravitacional	90
Reservorios con apoyo de Compactación	91
Fenómenos durante extracción de Hidrocarburos	93
Optimización de la Recuperación de Hidrocarburos	94
CAP IV.- COMPORTAMIENTO DE LOS RESERVORIOS DE GAS CONDENSADO	97
Definiciones parámetros Sistemas Multicomponentes	98
Reservorios de Gas Condensado	98
Características de los Fluidos en el Reservoirio	103
Comportamiento de Fase	105
Esquema Depletación CVD	107
Esquema Depletación CME	109

Petróleos volátiles y Gas Condensado	110
Balance de Materiales Composicional	111
CAP. V.- DESPLAZAMIENTO INMISCIBLE	129
Teoría Flujo Fraccional	134
Teoría de Buckley - Leverett	142
Reservorios Estratificados – Stiles	207
Reservorios Estratificados – Dykstra-Parsons	213
CAP. VI.- DEFINICION, CLASIFICACION Y ESTIMADOS DE RESERVAS	221
Métodos para estimar reservas	247
Definición y Clasificación de Reservas	263
CAP. VII .- RESERVOIR MANAGEMENT	307
El Reservoir Management	307
BIBLIOGRAFIA	325
GLOSARIO	326

INTRODUCCION

Se pone a disposición de la Comunidad Petrolera, el presente texto, el cual ha sido actualizado y corregido con respecto a las ediciones anteriores correspondientes a los años 1994, 1997, 1998 y 1999, las que fueran puestas a disposición de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Petróleo (FIP) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), a manera de fotocopias. Apuntes de Clase de Ingeniería de Reservorios, correspondiente a la edición 2006, incorpora al curso de Ingeniería de Reservorios II, dictado en la FIP.

Se agradece muy en especial a los alumnos y profesores de la Facultad, que a través de sus críticas constructivas, han permitido ir mejorando el contenido de cada uno de los capítulos.

El objetivo de estos Apuntes es contribuir al logro del ingeniero de petróleo en su búsqueda para definir las mejores alternativas de explotación de los diferentes tipos de reservorios con que cuenta nuestro país.

Actualmente, las aplicaciones de ingeniería de reservorios se orientan a la elaboración de modelos computacionales en tres dimensiones, que se pueden construir mejor si se dispone de los conceptos y modelos teóricos propios de la ingeniería de reservorios e integrada con ingeniería de producción y perforación. Estos modelos ayudan a definir el comportamiento dinámico de los reservorios, aportan conocimiento y permiten mejorar la tecnología para la explotación de éstos, aprovechable en el país.

Para explotar un reservorio de manera adecuada es preciso identificar y modelar el medio porosos (incluyendo sistemas de fracturas y su interacción con la matriz), por lo que se requiere aplicar, de manera consistente, diversas fuentes de información de tipo estático y dinámico, a fin de comprender los mecanismos de interacción de los fluidos con dichos sistemas.

La ingeniería de reservorios tiene varias definiciones y que han ido variando con el transcurrir del tiempo y los avances de técnicas y tecnologías. Por ejemplo, Muskat (1949) define el objetivo de la ingeniería de reservorios como "obtener la máxima recuperación a un mínimo costo, durante la explotación de los reservorios de hidrocarburos", Pirson (1958) la define como "el arte de predecir el comportamiento futuro de un reservorio de petróleo y/o gas", Craft y Hawkins (1959) lo define como "la aplicación de principios científicos para tomar conocimiento de los problemas de drenaje que surgen como consecuencia del desarrollo y producción de los reservorios de petróleo y gas", Clark (1960) menciona que "la ingeniería de reservorios esta relacionada a la ocurrencia, movimiento y recuperación de los fluidos presentes en el reservorio y el establecer los métodos mas eficientes y rentables a través del estudio y

evaluación de todos los factores, que afectan la recuperación del petróleo y el gas”.

La Ingeniería de Reservorios la podemos definir como el diseño y evaluación de procesos y programas necesarios para llevar a cabo el desarrollo y la explotación de un campo. Para tal fin, se requiere el conocimiento de aspectos de geología, perforación y completación de pozos, ingeniería de producción y evaluación de reservas y un mayor énfasis en las técnicas y métodos para caracterizar y predecir el flujo de fluidos dentro de reservorios bajo agotamiento natural y bajo procesos de recuperación mejorada (EOR).

En lo referente a la responsabilidad de un ingeniero de reservorios, tal como lo define Ramey (1971) es (i) recolectar e interpretar medidas indirectas de las características cuantitativas del reservorio y (ii) emplear esta información junto a principios físicos básicos para predecir el comportamiento del reservorio bajo un potencial esquema de desarrollo”, mientras que Raghavan (1993) menciona que la responsabilidad del ingeniero de reservorios esta relacionado con responder a las siguientes interrogantes (i) cual es el volumen de hidrocarburos presente en el reservorio, (ii) a que tasa deben producirse y (iii) cuanto de este fluido puede ser recuperado.

La ingeniería de reservorios ha incorporado nuevos conceptos que permiten, por un lado, la caracterización estática: dedicada al desarrollo y adecuación de metodologías integradas que permitan una mayor conceptualización de los reservorios, en términos físicos y geológicos. Este concepto, permite definir con certeza la geometría del reservorio, describiendo sus características petrofísicas e integrando datos de diversas fuentes como: geología, registros geofísicos de pozos, sísmica y núcleos.

Por otro lado, la caracterización dinámica: tiene como propósito investigar, desarrollar y adecuar metodologías que expliquen la interacción dinámica del sistema roca-fluido del reservorio, tratando de reflejar y comprender de la mejor manera cómo se desplazan los fluidos a través de las rocas. Los parámetros que se obtengan servirán para alimentar los modelos de simulación numérica de reservorios, integrando de manera congruente el modelo estático.

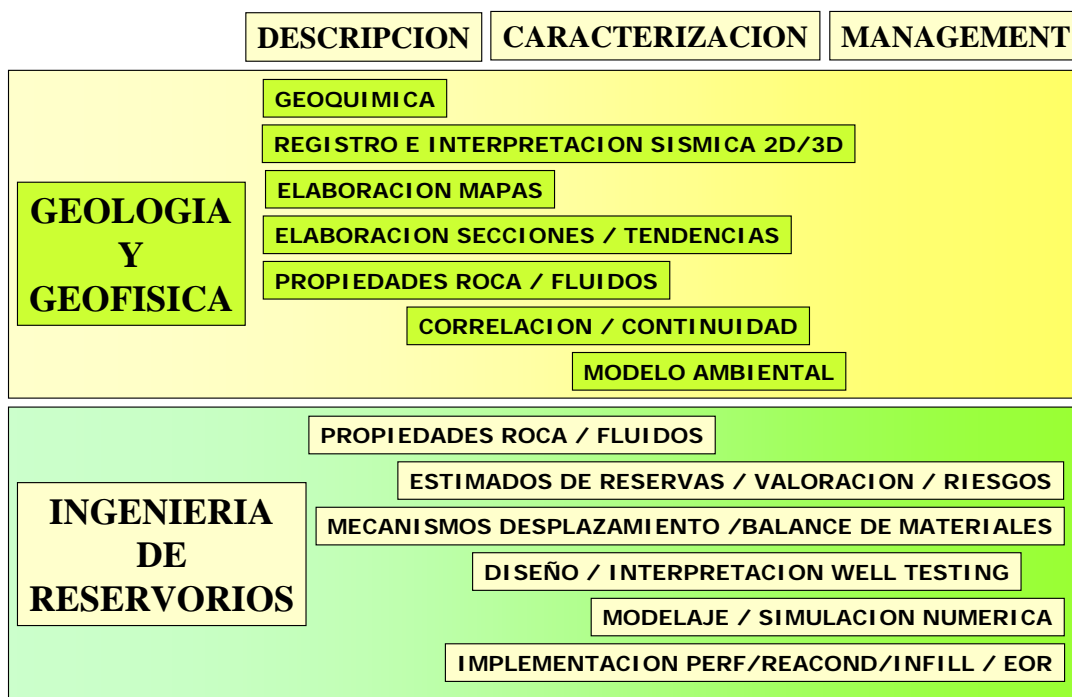
En este sentido, la ingeniería de reservorios hace un importante aporte a la simulación numérica de reservorios, la cual trata, sobre la base del comportamiento histórico de producción de petróleo, gas, líquidos del gas natural y agua de las formaciones, de realizar un pronóstico a diferentes años y con diversos escenarios de producción. Para llevar a cabo adecuadamente el trabajo es necesario contar con herramientas que permitan considerar todos los procesos que se llevan a cabo en el reservorio, tomando en cuenta, la geometría de las formaciones productoras y la dinámica de los fluidos contenidos en las mismas.

En este sentido, la ingeniería de reservorios ha evolucionado de tal manera que su ámbito ha invadido lo referente a descripción, caracterización y management, permitiendo que el ingeniero de reservorios pueda disponer de poderosas herramientas para prestar un apoyo efectivo en la toma de decisiones, mas aún si estas son de carácter estratégico, dentro de una empresa o país.

Asimismo, tal como es conocido, en nuestro país contamos con reservorios que le podremos denominar de “Explotación Avanzada”, para referirnos a los reservorios con una significativa recuperación acumulada de fluidos (petróleo, agua y gas), y la presión o el porcentaje de hidrocarburo actualmente en producción se ha reducido significativamente, y por lo cual es necesario aumentar o mantener la producción actual. En este sentido, es preciso desarrollar procedimientos o técnicas o aplicar tecnologías que contribuyan a hacer más eficiente la recuperación de hidrocarburos.

Las compañías que se encuentran llevando a cabo el desarrollo de un Lote tienen que llevar a cabo el manejo del reservorio a fin de optimizar el beneficio económico, técnico y ambiental de este. En este sentido es que surge el concepto de Manejo de Reservorio (Reservoir Management) que involucra el desarrollo e implementación de soluciones referidas a todos los aspectos de las operaciones de campo. El objetivo primario del manejo de reservorios es maximizar el valor del desarrollo y de la producción del campo durante su ciclo de vida (desde el final de la exploración hasta el abandono del Lote).

AMBITO DE LA INGENIERIA DE RESERVORIOS



Para lograr los mejores resultados el Manejo del Reservorio debe llevarse a cabo durante todo el ciclo de vida del campo y debe considerarse todos los factores relevantes. Esta estrategia asegurará que se tomen las decisiones óptimas en todas las etapas del desarrollo y de la producción del campo. El desarrollo de la estrategia óptima requiere llevar a cabo un estudio integrado, que incluya la creación de un modelo geológico, pruebas de presión y producción de pozos, y preparación de planes tanto para el desarrollo y la producción del campo que permitan maximizar el valor del Lote. La optimización integrada conlleva al concepto de Manejo Continuo del Reservorio, lo cual involucra una continua actualización del modelo geológico y de reservorios, a fin de permitir el soporte oportuno de todas las decisiones.