

Ch1

February 4, 2026

UNAM

Caracterización Dinámica de Yacimientos

Moisés Velasco Lozano, PhD

Introducción

1 Introducción

La planeación y ejecución de proyectos de explotación de hidrocarburos requieren la obtención de información sobre las propiedades físicas de los fluidos almacenados, el tipo de roca, la geometría de flujo y heterogeneidades presentes (fronteras, fallas, acuíferos, etc.); las cuales permitirán seleccionar de manera óptima las actividades a desarrollar durante la vida productiva del yacimiento, las instalaciones a construir, el equipo necesario y los procesos posteriores (separación, bombeo, etc.) que se tendrán que llevar a cabo al tener los fluidos en superficie.

[]:

Así pues, es necesario contar con una caracterización correcta del yacimiento y de los sistemas que lo conforman, lo cual permitirá administrar de manera adecuada los recursos disponibles, manteniendo la producción y obtener el mayor beneficio económico. En el proceso de caracterización se cuentan con diversas técnicas y metodologías, las cuales permiten obtener datos, características y parámetros del yacimiento que representan la base de conocimiento para los ingenieros, técnicos y especialistas de la industria, para decidir los procesos que deben ser realizados. La selección de los procesos dependerá específicamente de los objetivos particulares, las características del yacimiento, los beneficios y limitaciones de los métodos, así como del balance técnico/económico que estos signifiquen. En este capítulo se establece el significado de la caracterización dinámica de yacimientos y su importancia como principal fuente de pronóstico; se describen brevemente las principales técnicas empleadas en el proceso de caracterización; algunas de ellas se revisarán a mayor detalle en capítulos posteriores, debido a la importancia y aplicación que estas representan.

2 Definición y antecedentes de la caracterización dinámica de yacimientos

La caracterización de un yacimiento consiste en detectar y evaluar los elementos que constituyen y afectan el comportamiento de un yacimiento, es decir, la CDY se encarga de estudiar el comportamiento del yacimiento a través de métodos o técnicas dependientes del tiempo, con el objetivo de predecir (estimar) los cambios que se presentarán en las condiciones del sistema roca-fluidos. El estudio de la caracterización dinámica depende de una base de conocimientos, entre las que se pueden mencionar las siguientes disciplinas:

Geología

Caracterización estática

Propiedades de los fluidos

Comportamiento de yacimientos

Matemáticas (ecuaciones diferenciales)

2.1 Caracterización estática y dinámica de yacimientos

La relación que existe entre la caracterización estática (CEY) y dinámica corresponde a que la primera constituye la base de conocimiento para entender cómo se generan los cambios en las propiedades de la roca y fluidos contenidos en el yacimiento, logrando así evaluar las condiciones y resultados obtenidos al generar pronósticos de su comportamiento. La CEY consiste básicamente en detectar y evaluar los elementos que constituyen el yacimiento, por lo que el entendimiento pleno del yacimiento, en sus condiciones iniciales u originales permitirá la implementación de métodos dependientes del tiempo, con la finalidad de estimar los cambios que se presentarían al final de un tiempo de estudio establecido.

2.2 Herramientas de la caracterización dinámica

El proceso de toma de información para la caracterización dinámica de yacimientos se realiza por diversos métodos y metodologías, dependiendo de los objetivos particulares y de las condiciones y características del yacimiento, las cuales determinarán la factibilidad de la toma de información y la seguridad que esta representa al describir el comportamiento real de la respuesta del yacimiento. El tipo de fluidos, las condiciones de flujo, el tipo de formación, las heterogeneidades presentes, la duración de la prueba y los costos involucrados son factores que determinan la selección del mejor método a implementar, por lo que antes de ejecutar alguna actividad es necesario contar con los datos e información necesaria requerida, haciendo un balance técnico-económico, logrando de esta manera administrar de manera óptima las actividades relacionadas en el proceso de explotación de un yacimiento petrolero. A continuación se describen algunas de las principales técnicas (herramientas) utilizadas para llevar a cabo la caracterización dinámica del yacimiento.

Historicos de produccion

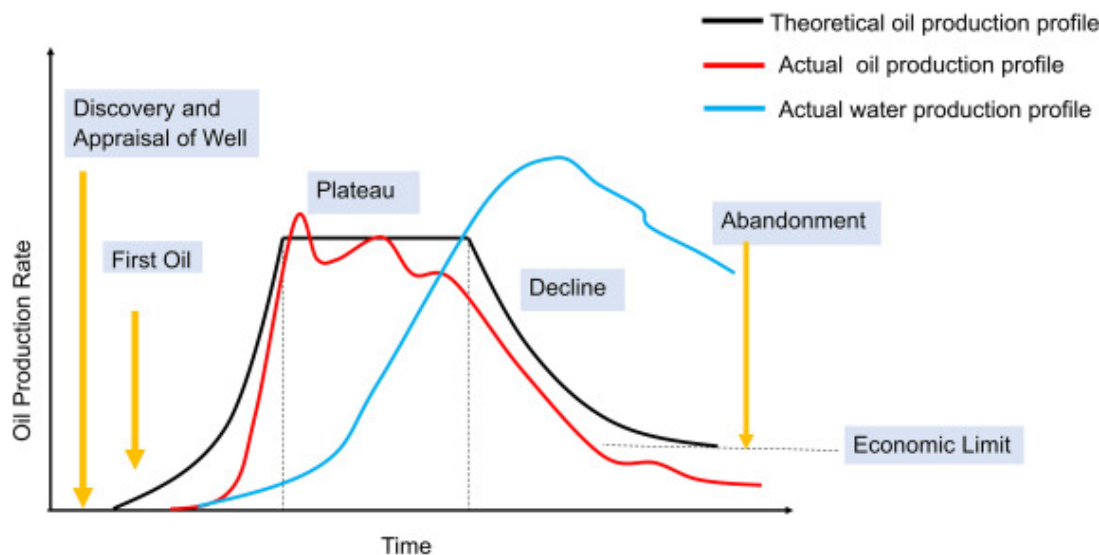
Trazadores quimicos

Registros de temperatura

Registros de produccion

2.2.1 Históricos de producción

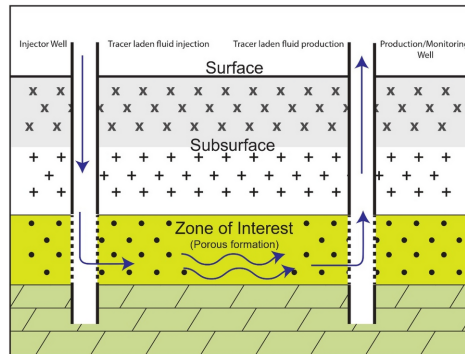
Los históricos de producción representan una fuente de información sobre la producción de fluidos de un pozo, campo o yacimiento en un período determinado, generalmente se representan por medio de gráficos de gasto vs tiempo o de gasto vs producción acumulada, con el objetivo de identificar la tendencia de producción, la cual puede presentar cambios y/o variaciones significativas, dependiendo de las condiciones de abatimiento de energía del yacimiento, implementación de procesos de recuperación y de inyección de fluidos. El estudio y análisis de los históricos de producción permiten establecer pronósticos de producción los cuales asisten a los ingenieros, técnicos y especialistas de la industria, en la toma de decisiones e implementación de proyectos de recuperación de hidrocarburos, dependiendo de las condiciones existentes, la producción y recuperación de fluidos esperada, así como de la relación costo-beneficio, logrando de esta manera un manejo integral del yacimiento con el objetivo de maximizar el factor de recuperación, lo que se denomina como una óptima administración de los recursos. La Figura presenta el comportamiento de la producción de fluidos de un pozo petrolero.



2.2.2 Trazadores químicos

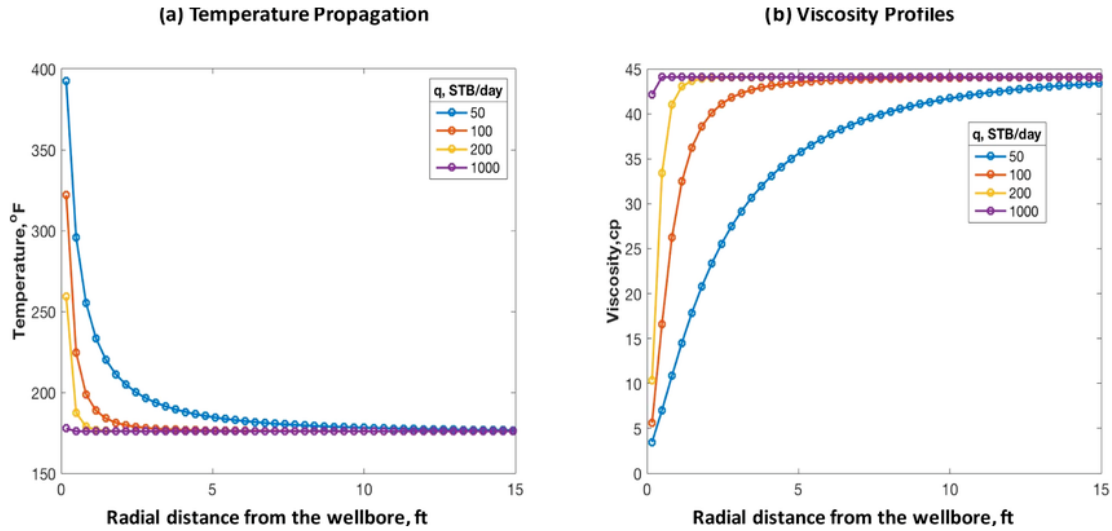
Un trazador (marcador) es una sustancia que puede ser monitoreada desde su inyección a través de un pozo en la formación de un yacimiento hasta su posterior recolección dentro de un sistema, sistema que corresponde a uno o varios pozos petroleros (García, 2011). Los trazadores químicos son divididos en dos principales categorías: radiactivos y químicos, los primeros son compuestos que contienen isótopos radiactivos que en un estado estable se desintegran y emiten algún tipo de radiación ya sea gamma o beta, por otra parte, los trazadores químicos son sustancias que son agregadas al fluido de inyección con el objetivo de analizar la interacción entre el fluido inyectado y los fluidos del yacimiento. El principio de operación de los trazadores químicos es el de realizar un análisis sobre la transferencia de agua de inyección entre pozos, teniendo como objetivo el detectar

a través de muestras recolectadas de los pozos el tiempo de tránsito, y la trayectoria seguida por el agua combinada con el trazador a lo largo de la formación. En ambos casos se han desarrollado métodos de análisis para medir ciertos parámetros generados por la utilización de los trazadores y las reacciones que ocurren en su proceso de inyección y contacto con la formación, así como el tiempo de interacción y tránsito en el medio poroso. El proceso de análisis consiste en el desarrollo de ecuaciones que relacionan las propiedades e interacción de los fluidos, permitiendo establecer expresiones para la determinación de la saturación de fluidos en función del comportamiento de la concentración del trazador recolectada al producir los fluidos en el pozo. La Figura representa la etapa de producción de los fluidos inyectados y generados in-situ para analizar sus composición y determinar diversos parámetros del yacimiento y fluidos.



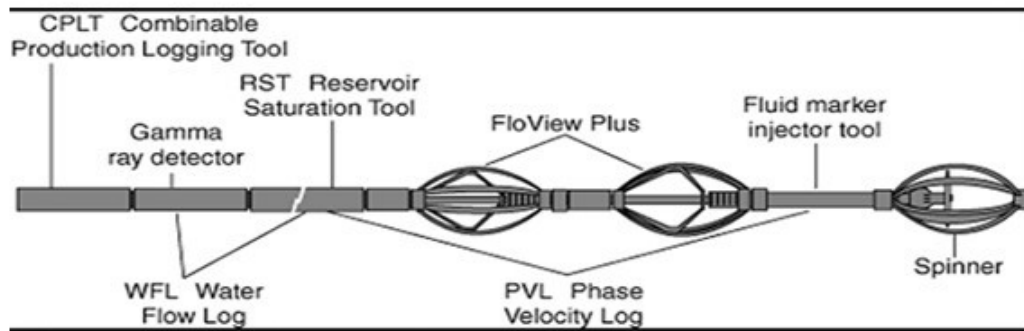
2.2.3 Registros de temperatura

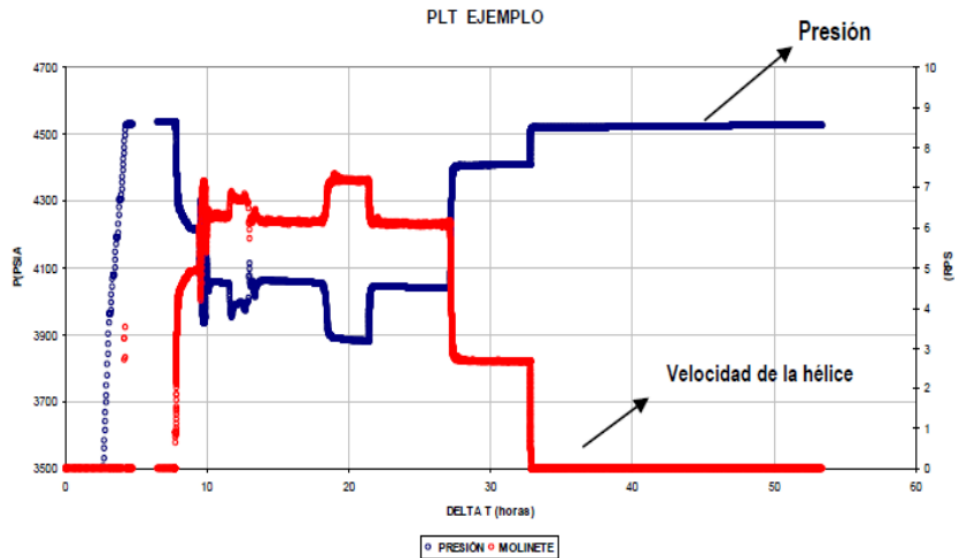
Los registros de temperatura dentro de la caracterización de yacimientos permiten monitorear los cambios de temperatura que existen en el fondo del pozo, los cuales determinan las condiciones térmicas bajo las cuales se tiene la producción de fluidos, para posteriormente analizar y establecer gradientes de temperatura en la tubería de producción, y como se verán afectados las propiedades físicas de los fluidos al presentarse el cambio drástico de temperatura. La información recabada también es utilizada en los modelos de flujo en el yacimiento, al considerar en la ecuación de difusión el cambio de temperatura es posible obtener un perfil de temperatura a través del medio poroso en donde se tiene flujo de fluidos, así pues se puede analizar si el comportamiento descrito es normal o si existe algún cambio significativo, el cual puede asociarse a una variación en las propiedades de capacidad calorífica del medio, un cambio de fluidos (capa de gas, acuífero) o la presencia de un fluido de inyección (vapor, agua caliente, químicos, etc). La aplicación de este tipo de métodos son de gran utilidad en procesos que generen un cambio considerable en las temperatura del medio o en la que se presenten reacciones in-situ que liberen calor, con el objetivo de medir el impacto en las propiedades de los fluidos y su posterior transporte en el medio (mejora en la movilidad). La Figura representa los perfiles de temperatura de forma general que se presentan en un yacimiento de geometría radial.



2.2.4 Registros de producción

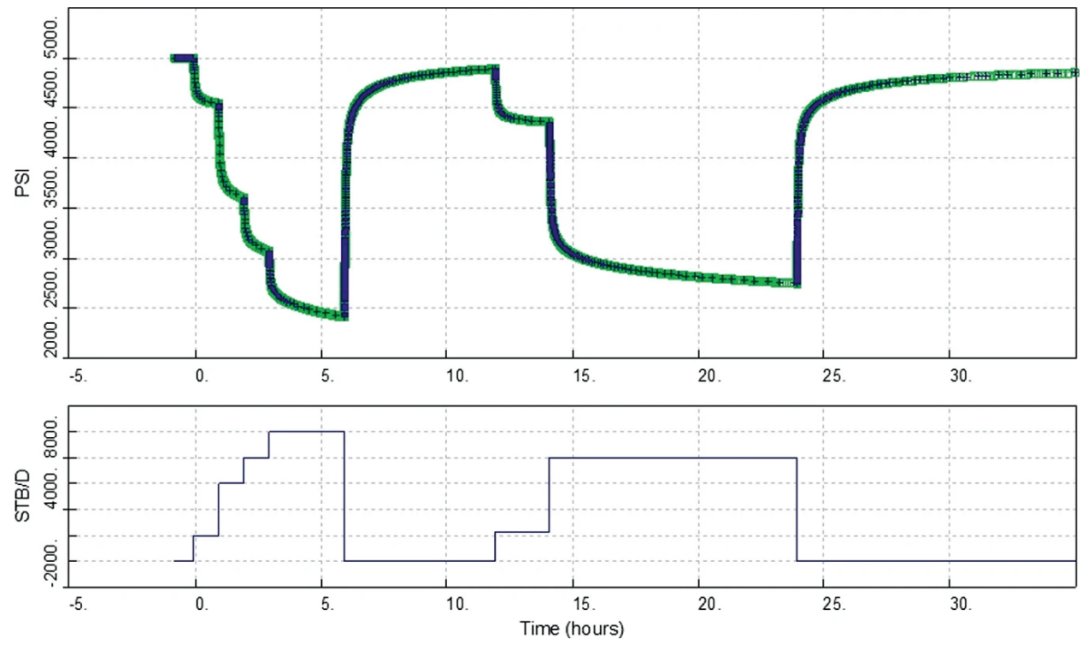
Los registros de producción son herramientas que miden el flujo de fluidos que aporta la formación hacia el pozo, su función se basa en el de monitorear la velocidad de flujo y poder determinar la productividad de las distintos intervalos productores. La información recopilada sobre el flujo establece si las condiciones de operación son óptimas, evaluando la calidad de los disparos, el potencial de la formación y si la zona se encuentra dañada, dicho proceso se realiza al analizar los datos de gasto generados en el pozo y registrados por la herramienta (molinete), para posteriormente llevar a cabo un proceso de ajuste y modelado de las condiciones existentes sobre el gasto en función del tiempo, teniendo como resultado la obtención de parámetros del yacimiento y de las condiciones de flujo existentes; cabe mencionar que este tipo de pruebas corresponden a datos individuales de cada pozo y de sus condiciones (la cara de la formación), a diferencia de los históricos de producción los cuales están referidos a condiciones de superficie, los cuales pueden contener información de más de un pozo en su registro de producción mostrado. Se presenta a continuación en la Figura la respuesta de presión y gasto en proceso de registro de producción por medio de un PLT (production logging tool).





2.2.5 Pruebas de presión

En el estudio de los yacimientos petroleros existen diversos métodos para su caracterización, los cuales proporcionan información de acuerdo a los alcances propios para los que se encuentran diseñados, estos métodos en su mayoría se encuentran basados en desarrollos analíticos los cuales tratan de predecir y aproximar el comportamiento real del fenómeno a través de expresiones matemáticas. Una prueba de presión consiste en registrar la variación de la presión o del gasto del pozo (o pozos) con respecto al tiempo después de que se produce un cambio en las condiciones de producción del pozo (Samaniego, 2014), teniendo como objetivo el poder medir de forma indirecta una o más de las propiedades del yacimiento. El análisis de los datos obtenidos de una prueba de presión es el resultado de los disturbios que se producen en las condiciones originales del yacimiento y las cuales son registrados para su posterior evaluación de acuerdo a los modelos matemáticos desarrollados. El proceso de análisis de los datos de presión constituyen una de las herramientas principales y de mayor aplicación en el proceso de caracterización debido a la relativa facilidad que estas representan en su implementación. La toma de información por medio de esta técnica es de gran importancia debido al área de investigación que esta permite conocer, dado que el transiente de presión generado por la producción o inyección de fluidos viaja a través de la formación, alcanzando grandes distancias en poco tiempo, por lo que es posible identificar diversas singularidades que afectan o benefician la producción y/o movimiento de los fluidos almacenados en el yacimiento. La selección de las pruebas de presión corresponden a los objetivos particulares y a la disponibilidad y eficiencia de su aplicación, en el contexto de obtención de información confiable, donde se asume un cierto rango de incertidumbre. La información principal que puede ser obtenida de la aplicación de una prueba de presión es la siguiente: Conductividad de la formación Factor de daño Presión promedio en el área de drenaje Volumen poroso Heterogeneidades del yacimiento (fallas, acuíferos, casquetes de gas, etc.) Permeabilidad



[]: