



MÉTODO DE BALANCE DE MATERIALES

Este método se usará y será aceptable para calcular los volúmenes de hidrocarburos originalmente en sitio y los probables mecanismos de producción del yacimiento, cuando exista suficiente información específica y precisa de los fluidos (petróleo, gas y agua), historia de las presiones de fondo e información PVT representativa de las condiciones iniciales del yacimiento. Se debe tomar en cuenta para que estos datos sean confiables, el yacimiento debe haber alcanzado un estado semiestable, es decir, las presiones transientes deben haber afectado buena parte del sistema de roca y fluidos, lo cual suele lograrse al producir al menos un 10% de los hidrocarburos originalmente en sitio. El balance de materiales es comúnmente utilizado para cotejar con los hidrocarburos originales en sitio estimados con los resultados obtenidos por el método volumétrico, así como para predecir el petróleo recuperable.

Este método parte del principio de que cada volumen poroso de un yacimiento permanece constante, o cambia con la presión del yacimiento de manera pronosticable, cuando de dicho yacimiento se produce petróleo, agua y/o gas. En general, el método de balance de materiales para estimación de reservas está basado en la ley de conservación de la masa; y en su forma más simple, establece que el volumen inicial de fluidos en el yacimiento es igual al volumen de fluidos remanente en dicho yacimiento más el volumen de fluidos extraídos menos el posible volumen de agua que pudo haber entrado al mismo, medidos a las mismas condiciones de presión y temperatura.

El balance de materiales no es más que el enfoque como un balance de masa que se le da al análisis sistemático de yacimientos productores de hidrocarburos. Este método puede emplearse tanto para analizar yacimientos de petróleo como para yacimientos de gas natural.

BALANCE DE MATERIALES PARA YACIMIENTOS DE PETRÓLEO

La ecuación generalizada de balance de materiales (EGBM) supone al yacimiento como un volumen de control en el cual se cumple la relación:

Producción neta del yacimiento
(petróleo, gas y agua)

Expansión del petróleo y gas
libre originalmente en sitio

Influjo de Agua

Así, tomando en cuenta los factores que intervienen en el análisis de yacimientos de hidrocarburos, la EGBM se expresa como:



$$N(B_t - B_{ti}) + \frac{mNB_{ti}}{B_{gi}}(B_g - B_{gi}) + (1+m)NB_{ti}\left(\frac{C_w S_{wi} + C_f}{1 - S_{wi}}\right)\Delta P + W_e = N_p(B_t + (R_p - R_{si})B_g) + W_p B_w$$

Expansión del petróleo

Expansión del gas libre

Expansión del agua y reducción de volumen poroso

Influjo de agua

Producción combinada de petróleo y gas

Producción de agua

Donde se utilizan algunos de los siguientes términos:

N = Volumen inicial de petróleo (BN)
 G = Volumen de gas inicial (PCN)
 W = Volumen de agua inicial (BY)
 Bo = Factor volumétrico del petróleo (BY/BN)
 Bg = Factor volumétrico del gas (BY/PCN)
 Bw = Factor volumétrico del agua (BY/BN)
 Bt = Factor volumétrico bifásico (BY/BN)
 So = Saturación de petróleo (fracción)
 Sw = Saturación de agua (fracción)
 Co = Compresibilidad del petróleo (lpc⁻¹)
 Cf = Compresibilidad de la formación (lpc⁻¹)
 Cw = Compresibilidad del agua de formación (lpc⁻¹)

We = Influjo acumulado de agua (BY)
 Vf = Volumen poroso (BY)
 ΔP = Diferencial de presión (lpc⁻¹)
 Np = Volumen de petróleo producido acumulado (BN)
 Gp = Volumen de gas producido acumulado (PCN)
 Wp = Volumen de agua producida acumulada (BN)
 Rs = Relación gas-petróleo en solución (PCN/BN)
 Rp = Relación gas-petróleo producida acumulada (PCN/BN)
 m = relación entre el volumen poroso inicial de la capa de gas y el volumen poroso inicial de la columna de petróleo (adimensional)

OBJETIVOS DEL BALANCE DE MATERIALES

La ecuación general de balance de materiales se aplica con la finalidad de:

- Estimar los volúmenes iniciales de hidrocarburos en el yacimiento (GOES y POES).
- Calcular los volúmenes de hidrocarburos a cualquier tiempo durante el agotamiento del yacimiento.
- Predecir el comportamiento futuro de los hidrocarburos y la recuperación total de los mismos.

SUPOSICIONES PARA APLICAR BALANCE DE MATERIALES

Con la finalidad de simplificar las ecuaciones a utilizar el método de balance de materiales presenta las siguientes suposiciones y consideraciones:



- ❖ Volumen poroso del yacimiento constante:
 - En yacimientos de gas seco, el espacio poroso estará ocupado por el gas y el agua connata.
 - En yacimientos subsaturados, el espacio poroso estará ocupado por petróleo y agua connata.
 - En yacimientos saturados con capa de gas, el espacio poroso estará ocupado por petróleo, gas libre y agua connata.
- ❖ El petróleo y el gas existente se encuentran siempre en equilibrio a la temperatura y presión existentes en el yacimiento.
- ❖ Los datos PVT disponibles o estimados simulan el comportamiento dentro del yacimiento y relacionan la producción superficial al vaciamiento del yacimiento.
- ❖ El mecanismo de producción expansión de agua y reducción del volumen poroso se supone despreciable en yacimientos saturados.
- ❖ Se considera el factor volumétrico del agua igual a uno ($B_w=1,0$ BY/BN) y la relación agua-gas en solución igual a cero ($R_{sw}= 0$ PCN/BN).
- ❖ La temperatura del yacimiento se considera constante.

FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE BALANCE DE MATERIALES

Los datos utilizados para una aplicación confiable de la EGBM incluyen:

- ❖ Análisis PVT representativos de las muestras de fluidos a las condiciones iniciales del yacimiento (dicho análisis debe evaluarse a la presión estática promedio del yacimiento).
- ❖ Historia confiable de la presión estática de fondo de los pozos en el yacimiento.
- ❖ Información detallada de la producción mensual de petróleo, gas y agua.
- ❖ Dependiendo de las circunstancias, la compresibilidad de la formación en función de la presión neta de sobrecarga.

APLICACIONES DEL BALANCE DE MATERIALES

La ecuación general de balance de materiales para el estudio de yacimientos tiene las siguientes aplicaciones:



- ❖ Hacer estudios de agotamiento.
- ❖ Determinar los volúmenes de hidrocarburos originalmente en sitio (POES y GOES) y confirmar los cálculos volumétricos.
- ❖ Verificar las posibles extensiones de un campo donde la cantidad de petróleo en el yacimiento resulta mayor que los cálculos volumétricos.
- ❖ Determinar la presencia de intrusión de agua y su tasa de intrusión.
- ❖ Verificar la existencia de una capa de gas.

LIMITACIONES PARA APLICAR BALANCE DE MATERIALES

La EGBM permite obtener resultados confiables cuando:

- ❖ La arena no se encuentra en comunicación hidráulica con otras arenas de mayor o menor presión.
- ❖ No existen grandes gradientes de presión a través del yacimiento a un tiempo dado, lo cual implica que las presiones del yacimiento se encuentran en equilibrio.
- ❖ Se dispone de datos confiables de tasas de producción, volúmenes acumulados de fluidos producidos y presiones del yacimiento.
- ❖ El gas en solución en el agua connata es despreciable.

Las condiciones de yacimiento que limitan la confiabilidad de un estimado, logrado mediante la aplicación del método de balance de materiales, incluye las siguientes:

- ❖ Un fuerte empuje por agua o una capa inicial de gran tamaño que mantenga la presión del yacimiento cerca de su valor inicial.
- ❖ Yacimientos arealmente extensos cuya área desarrollada es diferente en las distintas etapas de desarrollo y producción.
- ❖ Yacimientos arealmente extensos con transmisibilidades bajas.
- ❖ Yacimientos muy heterogéneos con zonas de alta permeabilidad intercaladas con zonas de baja permeabilidad, o yacimientos fracturados.
- ❖ Yacimientos con variaciones espaciales significativas en las propiedades iniciales de los fluidos, especialmente en aquellos con variaciones iniciales de las relaciones gas petróleo y de la presión de burbujeo.