

$$\frac{(P_{wf_s} - P_{wf_n})}{(q_n - q_N)} = 141.2 \frac{\mu B}{Kh} * \left[\sum \Delta q_i * P_D(t - t_{i-1})_D + S \right] \quad (5.26)$$

y la ecuación (5.26) indica que la prueba de tasa múltiple también se puede interpretar graficando $\frac{(P_{wf_s} - P_{wf_n})}{(q_n - q_N)}$ vs $\sum \frac{\Delta q_i}{(q_n - q_N)} * P_D(t - t_{i-1})$ que es una línea recta de pendiente m'' , y permite encontrar K y S lo mismo que en los casos anteriores.

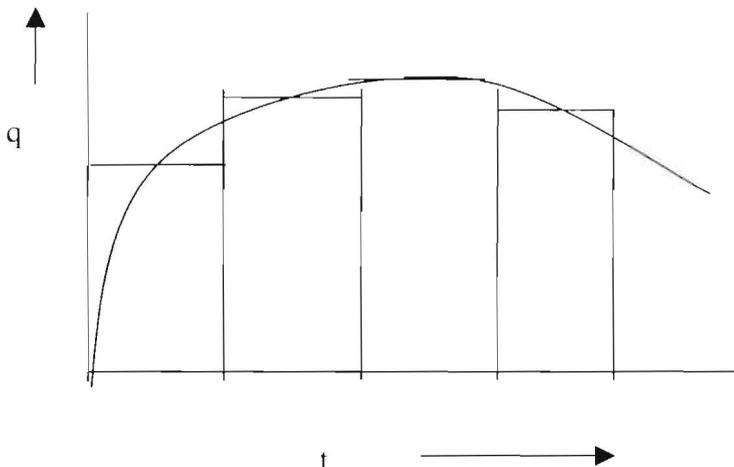
La ventaja de la ecuación (5.26) es que no requiere conocer P_i , sino solamente la presión de la tasa de flujo estabilizado al iniciar la prueba P_{wfN_i} , el valor de esta tasa q_N , y que el tiempo de esta última tasa de flujo sea lo suficientemente grande para decir que $t_N + \Delta t \approx t_N$.

Para usar la ecuación (5.26) en lo que respecta a $P_D(t_D)$ se puede plantear lo mismo que se hizo antes para usar la ecuación (5.24) o calcular P_D aplicando las cartas MBH.

Una prueba de Draw-Down, cuando la tasa de flujo no se estabiliza, se puede interpretar como una prueba multitasa de la siguiente manera: supongamos que el comportamiento de la tasa fue una curva como la que se muestra en la página siguiente. Dividiendo todo el intervalo de la prueba en intervalos en los cuales se puede considerar tasa de flujo constante y todo el periodo de flujo se puede suponer como una superposición de periodos de flujo en los que la tasa de flujo se puede considerar constante.

Aplicando el principio de superposición se tendría:

$$(P_i - P_{wf}) = 141.2 \frac{\mu B}{kh} \left[\sum_{i=1}^n \frac{(q_i - q_{i-1})}{q_N} * [P_D(t_n - t_{i-1})_D + S] \right]$$



y suponiendo que P_D se puede reemplazar por la aproximación logarítmica se tiene

$$(P_i - P_{wf}) = 162.6 \frac{\mu B}{kh} \left[\sum_{i=1}^n (q_i - q_{i-1}) * [\log(t_n - t_{i-1}) + \bar{S}] \right]$$

$$(P_i - P_{wf}) = 162.6 \frac{\mu B}{kh} \left[\sum_{i=1}^n (q_i - q_{i-1}) * \log(t_n - t_{i-1}) + q_n \bar{S} \right]$$

$$\frac{(P_i - P_{wf})}{q_n} = 162.6 \frac{\mu B}{kh} \left[\frac{1}{q_n} \sum_{i=1}^n (q_i - q_{i-1}) * \log(t_n - t_{i-1}) + \bar{S} \right] \quad (5.27)$$

Un gráfico de $\frac{(P_i - P_{wf})}{q_n}$ vs. RTF donde $RTF = \frac{1}{q_n} \sum_{i=1}^n (q_i - q_{i-1}) \log(t_n - t_{i-1})$, es una línea recta con pendiente m' de la cual se puede obtener kh/μ (kh , o k) y del intercepto $m' * \bar{S}$ de donde se puede obtener S .

Por otra parte la ecuación (5.27) se puede escribir también como

$$\frac{(P_i - P_{wf})}{q_n} = m' \left[\frac{1}{q_n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i - q_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right) * (t_i - t_{i-1}) \log(t_n - t_{i-1}) + \bar{S} \right]$$

y cuando se toman intervalos de tiempo muy cortos

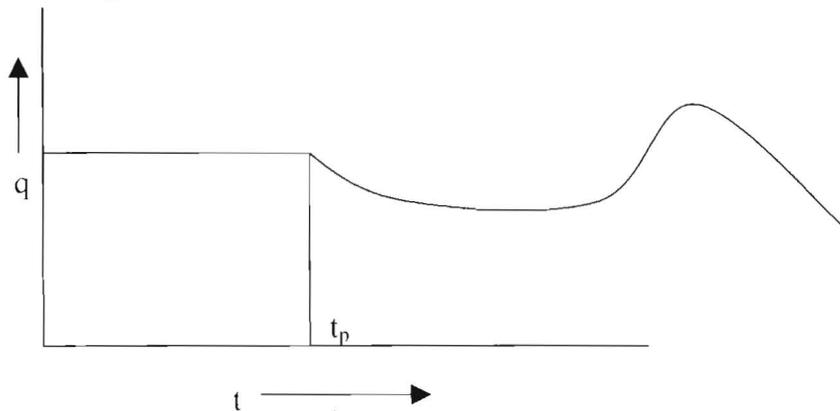
$$\frac{(P_i - P_{wf})}{q_n} = \frac{m'}{q_n} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{dq_i}{dt} \right)_{q_i} * \log(t_n - t_{i-1}) dt \right] + m' \bar{S}$$

$$\frac{(P_i - P_{wf})}{q_n} = \frac{m'}{q_n} \left[\int_0^{t_n} \left(\frac{dq}{dt} \right) \log(t_n - t_{i-1}) dt \right] + m' \bar{S} \quad (5.29)$$

La integral $\int_0^{t_n} \left(\frac{dq}{dt} \right) \log(t_n - t_{i-1}) dt$ se conoce como integral de convolución.

La prueba de dos tasas cuando la segunda tasa no se estabiliza también se puede interpretar con una ecuación similar a la ecuación (5.29), obtenida para una prueba de Draw-Down cuando no se consigue estabilización.

El comportamiento de la tasa de flujo en una prueba de dos tasas cuando no se consigue estabilización presenta la siguiente forma



Suponiendo que $t_p < t_{ss}$, mientras se esté en el transiente la presión en cualquier momento del segundo periodo de flujo es

$$(P_t - P_{wf}) = 162.6 \frac{\mu B}{k\bar{h}} \left[\sum_{i=1}^n (q_i - q_{i-1}) * \log(t_n - t_{i-1}) + q_n \bar{S} \right]$$

y puesto que $q_0=0$ se puede escribir

$$(P_t - P_{wf,t_n}) = m' q_1 \log t_n + m' \left[\sum_{i=2}^n (q_i - q_{i-1}) * \log(t_n - t_{i-1}) + q_n \bar{S} \right]$$

y cuando $t_n=t_p$ la presión en el fondo del pozo es

$$(P_t - P_{wf,t_p}) = m' q_1 (\log t_p + \bar{S})$$

restando las dos ecuaciones anteriores y recordando que $t_n=t_p+\Delta t_n$ se tiene

$$(P_{wf,t_n} - P_{wf,t_p}) = m' q_1 \log \frac{t_p}{t_p + \Delta t_n} + m' \sum_{i=2}^n [(q_i - q_{i-1}) \log(t_n - t_{i-1})] + m' (q_1 - q_n) * \bar{S}$$

y puesto que $t_i=t_p+\Delta t_i$ la ecuación anterior se puede escribir como

$$\frac{(P_{wf,t_n} - P_{wf,t_p})}{(1 - q_D)} = m_1 \left\{ \frac{1}{1 - q_D} \left[\log \frac{t_p}{t_p + \Delta t_n} - \frac{1}{q_1} \sum_{i=2}^n (q_i - q_{i-1}) \log(\Delta t_n - \Delta t_{i-1}) \right] \right\} + m_1 \bar{S} \quad (5.30)$$

donde $q_D=q_n/q_1$.

De acuerdo con la ecuación (5.30) un gráfico de $\frac{(P_{wf,t_n} - P_{wf,t_p})}{(1 - q_D)}$ vs.

$\left\{ \frac{1}{1 - q_D} \left[\log \frac{t_p}{t_p + \Delta t_n} - \frac{1}{q_1} \sum_{i=2}^n (q_i - q_{i-1}) \log(\Delta t_n - \Delta t_{i-1}) \right] \right\}$ se obtiene una línea recta de

pendiente m_1 e intercepto $m_1 \bar{S}$

Problema 5.1

Un pozo con $r_w = 0.33$ pies; se puso a fluir durante 1000 horas y durante esta prueba se tuvo la e información que se muestra en la tabla 9

Tabla 9-. Datos para la Prueba de Flujo del Problema 5.1-

t(hrs)	ΔP(lpc)	t(hrs)	ΔP(lpc)	t(hrs)	ΔP(lpc)
0.001	57.21	1.0	92.53	65	126.57
0.016	60.79	1.6	95.91	80	130.22
0.025	64.20	2.5	99.32	100	135.07
0.040	67.78	4.0	102.90	160	149.65
0.065	71.49	6.5	106.61	250	171.51
0.10	74.77	10	109.89	400	207.94
0.16	78.35	16	113.47	650	268.67
0.25	81.76	25	116.88	800	305.10
0.80	90.62	40	120.50	1000	353.68

Se tiene además la siguiente información adicional:

$\mu_o = 0.8$ cp, $h = 20$ pies $B_o = 1.35$ $q = 100$ BN/D $r_e = 1053$ pies, $\phi = 0.12$, $C = 15 * 55 * 10^{-6}$ lpc⁻¹, $P_i = 3000$ lpc.

Calcular : k , S , P_i , A , C_A y \bar{P} a las 10 horas del cierre después de haber producido durante 1000 horas.

Solución

Aunque no se conoce el tiempo al cual el flujo pasa de periodo transiente a pseudoestable, se puede suponer que a las primeras horas del periodo de flujo se tienen comportamiento transiente (supongamos hasta $t = 10$ horas) y que de 60 horas en adelante se tiene comportamiento pseudoestable.

El gráfico semilog de toda la prueba se muestra en la figura 26 en la cual se puede ver que después de los primeros puntos se muestra una tendencia lineal. Esta porción recta se muestra en la figura 27 la cual como se muestra en la misma figura tiene una pendiente de 7.6281 cuando se usa el logaritmo natural del tiempo o sea $7.6281 * 2.303 = 17.5675$ cuando se usa logaritmo decimal,

y como se sabe en este último caso, la pendiente es igual a $162.6 \frac{q \mu B}{kh}$; o sea que

$$162.6 \frac{q \mu B}{kh} = 17.5675$$

y

$$k = \left(\frac{17.5675 * h}{162.6 * q * \mu * B} \right)^{-1} = \left(\frac{17.5675 * 20}{162.6 * 100 * 0.8 * 1.35} \right)^{-1} = 50 \text{ md}$$

De esta misma gráfica se puede obtener el valor de S de la siguiente manera:

Cuando $t = 1$ hora, entonces:

$$\Delta P_{1h} = m \left[\log \frac{k}{\phi \mu C r_w^2} - 3.23 + 0.87S \right]$$

$$S = 1.151 \left[\frac{\Delta P_{1h}}{m} - \log \frac{K}{\phi \mu C r_w^2} + 3.23 \right]$$

$$= 1.151 \left[\frac{92.53}{17.76} - \log \frac{50}{0.12 * 0.8 * 15.55 * 10^{-6} * 0.33^2} + 3.23 \right] = 0.06$$

donde el valor de ΔP_{1h} es el intercepto de la recta de la figura 17 o sea 92.53

- Si para el periodo pseudoestable se gráfica ΔP vs t , para valores de $t > 60$ hrs. Se tiene una recta como se muestra en la figura 28, cuya pendiente es: $m = 0.24$ lpc/hr y de acuerdo con la ecuación para el periodo pseudoestable:

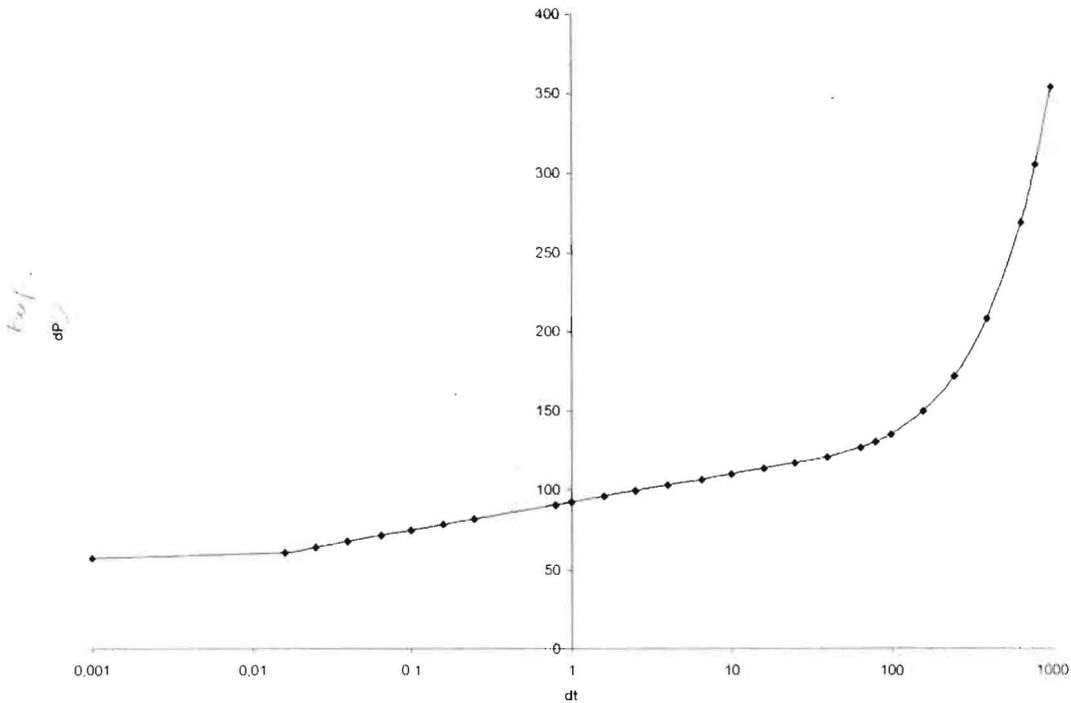


Figura 26-. Gráfico Semilog para el problema 5.2

$$m_{pss} = m * \frac{4\pi}{2.303} * \frac{2.64 * 10^{-4} k}{\phi \mu C A} = 0.24$$

$$A = m * \frac{4\pi}{2.303} * \frac{2.64 * 10^{-4} k}{m * \phi \mu C_A} = 17.76 \frac{4 * \pi}{2.303} * \frac{2.64 * 10^{-4} * 50}{0.24 * 0.12 * 0.8 * 15.55 * 10^{-6}}$$

$$= 3.56 * 10^6 \text{ pies}^2$$

y el factor de forma se puede obtener del intercepto, el cual de la misma figura 28, es:

111 y de acuerdo con la ecuación para el periodo transiente se tiene:

$$\text{intercepto} = m * \log \frac{4A}{\gamma C_A r_w^2} = m \left(\log \frac{4A}{\gamma r_w^2} - \log C_A \right)$$

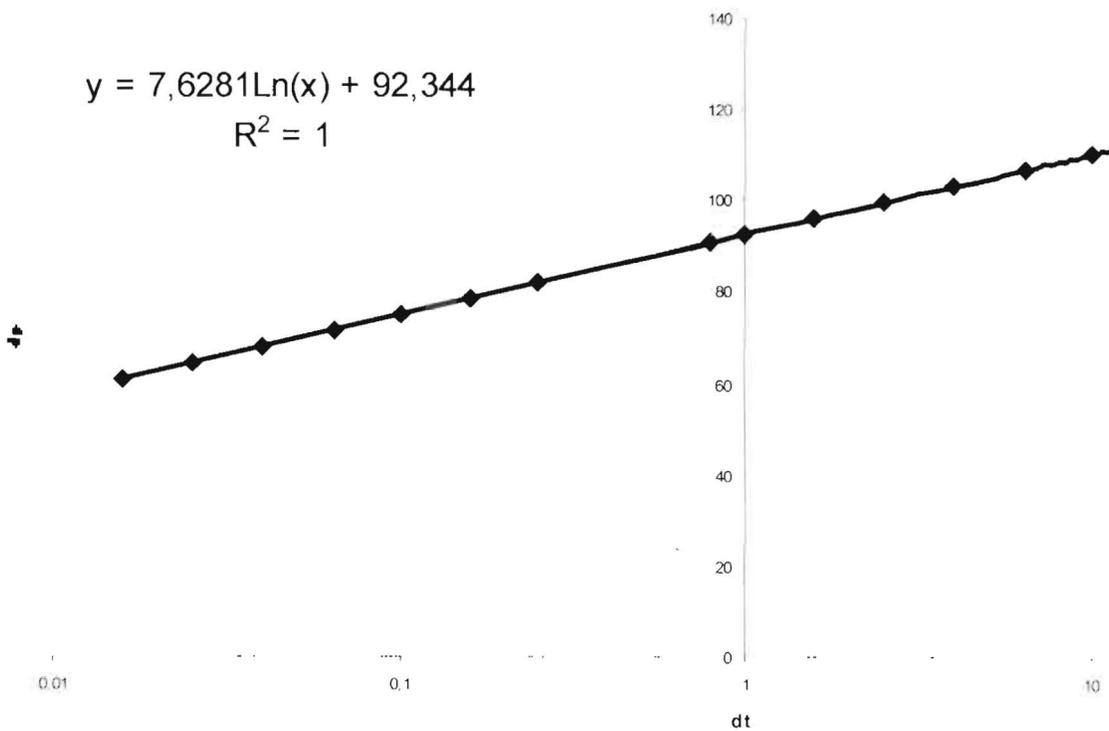


Figura 27 -. Porción Recta del Gráfico Semilog del Problema 5.2

$$\log C_{A,i} = -\frac{\text{intercepto}}{m} + \log \frac{4A}{\gamma r_w^2} = -\frac{111}{17.76} + \log \frac{3.56 * 10^6 * 4}{1.781 * 0.33^2} = 0.9575$$

$$C_A = 9.067$$

Para calcular la presión promedio del yacimiento después de fluir durante 1000 horas simulamos una prueba de restauración de 10 horas durante la cual la presión estará dada por

$$\Delta P = P_i - P_{ws} = 141.2 * \frac{q\mu B}{kh} * \left[P_D(t_p + \Delta t)_{D,d} - P_D(\Delta t)_{D,d} \right]$$

veamos si a las 100 horas se está en el período transiente o el pseudoestable; para ello se calcula t_{ss} de

$$t_{ss} = 948 * \frac{\phi\mu C' r_e^2}{k} = 948 * \frac{0.12 * 0.8 * 15.6 * 10^{-6} * 1053^2}{50} = 31.48 \text{ hrs.}$$

Por lo tanto

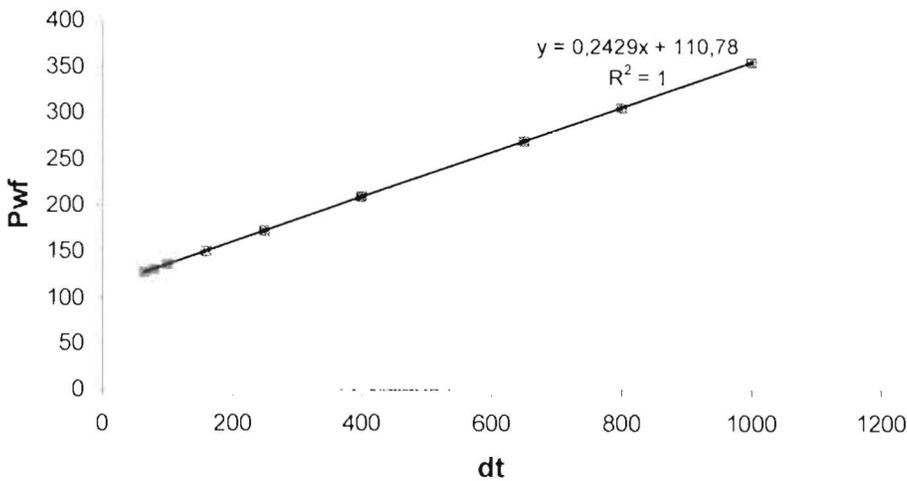


Figura 28-. Gráfico Cartesiano de la Última Porción de la Prueba de presión del Problema 5.2

$$P_D(t_p + \Delta t)_{D,d} = 1/2 * \ln \frac{4A}{\gamma C_A r_w^2} + 2\pi t_{D,d}$$

y la caída de presión mientras Δt sea menor de t_{ss} es

$$\begin{aligned} \Delta P = P_i - P_{ws} &= 141.2 * \frac{q\mu B}{kh} * \left[1/2 \ln \frac{4A}{\gamma C_A r_w^2} + 2\pi (t_p + \Delta t)_{D,d} - 1/2 \ln \frac{4 * \Delta t_{D,d}}{\gamma} \right] \\ &= 141.2 * \frac{q\mu B}{kh} * \left[1/2 \ln \frac{1}{C_A \Delta t_{D,d}} + 2\pi (t_p + \Delta t)_{D,d} \right] \end{aligned}$$

$$= 141.2 * \frac{q\mu B}{kh} * \left[1/2 \operatorname{Ln} \frac{\phi \mu CA}{C_A * 2.64 * 10^{-4} * k * \Delta t} + 2\pi \frac{2.64 * 10^{-4} * k * (t_p + \Delta t)}{\phi \mu CA} \right]$$

$$= 141.2 * \frac{100 * 0.8 * 1.35}{50 * 20} * \left[1/2 \operatorname{Ln} \frac{0.12 * 0.8 * 15.6 * 10^{-6} * 3.56 * 10^6}{9.067 * 2.64 * 10^{-4} * 50 * \Delta t} + 2\pi \frac{2.64 * 10^{-4} * 50 * (1000 + \Delta t)}{0.12 * 0.8 * 15.6 * 10^{-6} * 3.56} \right]$$

$$= 15.2496 * \left[1/2 \operatorname{Ln} \frac{44.48}{\Delta t} + 0.0156 * (1000 + \Delta t) \right]$$

y la presión en cualquier momento de la prueba será

$$P_{ws} = P_i - 15.2496 * \left[1/2 \operatorname{Ln} \frac{44.48}{\Delta t} + 0.0156 * (1000 + \Delta t) \right]$$

$$P_{ws} = 3000 - 15.2496 * \left[1/2 \operatorname{Ln} \frac{44.48}{\Delta t} + 0.0156 * (1000 + \Delta t) \right]$$

Con esta expresión se puede elaborar la tabla de la supuesta prueba de presión con la cual se podrá obtener la presión promedio la cual se muestra en la tabla 10

El gráfico de Horner para dicha prueba se muestra en la figura -29-y de la ecuación de la recta obtenida se ve que P' es 2783 Lpc. La cual podría tomarse como la presión promedio al momento de cerrar el pozo cuando este ha fluido durante 1000 horas. Sin embargo la presión promedio también puede determinarse por el método de Dietz el cual dice que la presión promedio se puede obtener de la recta del gráfico de Horner entrando a este con un valor de la abscisa dado por $\log(C_A * t_{DA})$.

$$\operatorname{Log} C_A t_{DA} = \operatorname{Log} \left(C_A * 2.64 * 10^{-4} \frac{k * t_p}{\phi \mu CA} \right) = \operatorname{Log} (9.067 * 2.64 * 10^{-4} * \frac{50 * 1000}{0.12 * 0.8 * 15.6 * 10^{-6} * 3.56})$$

$$= 1.35$$

Tabla 10 - Información de la Prueba de Restauración Simulada para Encontrar la Presión Promedia del Problema 5.2.

Δt (hrs.)	P_{ws} (Lpc)	$(t_p + \Delta t) / \Delta t$	Δt (hrs.)	P_{ws} (Lpc)	$(t_p + \Delta t) / \Delta t$
0,01	2698,05394	100001	3	2740,83284	334,333333
0,015	2701,14434	66667,6667	4	2742,78846	251
0,02	2703,33667	50001	5	2744,252	201
0,1	2715,58928	10001	6	2745,40427	167,666667
0,2	2720,8506	5001	7	2746,34174	143,857143
0,3	2723,9184	3334,33333	8	2747,122	126
1	2732,93193	1001	9	2747,78218	112,111111
2	2737,97914	501	10	2748,34763	101

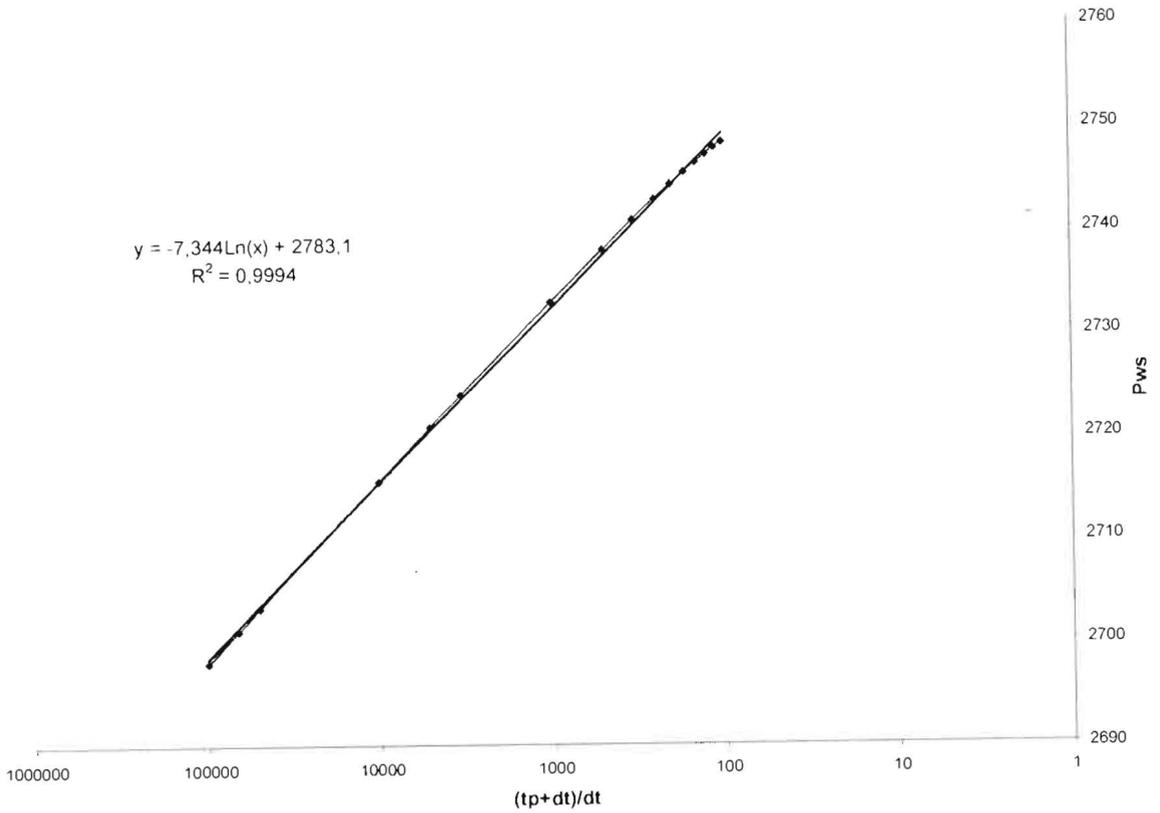


Figura 29 -. Gráfico de Horner para la Prueba de Restauración de la Tabla 10

Con el valor anterior y de acuerdo con la ecuación de la recta se obtiene

$$P_{ws} = -7.344 * 2.303 * \text{Log } x + 2783.1$$

$$\bar{P} = -7.344 * 2.303 * 1.35 + 2783.1 = 2760.15 \text{ Lpc}$$

Bibliografía

- 1- Dake, L.P., "Fundamentals of Reservoir Engineering", Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1978.
- 2- Dake, L.P., "The Practice of the Reservoir Engineering", Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1994
- 3- Lee, J. "Well Testing", SPE Textbok Series, Richardson, TX, USA 1981
- 4- Sabet, M. A., "Well Test Análisis", Gulf Publishing Company, Houston, TX, USA; 1991
- 5- Pérez, P. R., "Pruebas de Presión en Pozos de Petróleo y Gas", Documento Inédito elaborado en la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, 1995
- 6- Mathews, C.S and Russell, D.G., "Pressure Build Up and Flow Tests in Oil Wells", SPE Reprint Series of The SPE, Reprint No. 1.

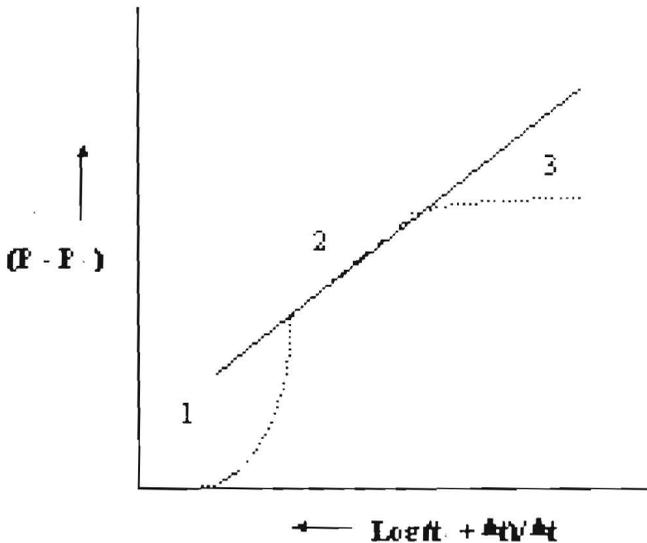
6 -. EFECTO DE ALMACENAJE Y COMPLETAMIENTO PARCIAL EN PRUEBAS DE RESTAURACIÓN DE PRESIÓN

Hasta ahora se ha supuesto, para la interpretación de las pruebas de presión, que al momento de cerrar el pozo en superficie la tasa de flujo se hace cero en el fondo del pozo y que toda la formación de interés está abierta al flujo. La primera situación no se va a presentar a menos que el pozo se cerrara en el fondo o que el fluido producido fuera incompresible, y la segunda en algunos casos no se da porque toda la formación no puede ser abierta al flujo.

Cuando el pozo se cierra en cabeza y la formación sigue produciendo se habla de almacenaje o sobreflujo, el efecto de este proceso en la prueba de restauración o de flujo depende de la compresibilidad del fluido, el volumen del pozo disponible para almacenaje y las características de la formación.

Se pueden presentar casos en que el efecto de almacenaje se presente hasta que el yacimiento salga del periodo transiente y entonces si se va a interpretar una prueba de restauración por el método de Horner, no se podrá obtener la línea recta; por esta razón existen métodos para estudiar el comportamiento del pozo mientras está en el periodo de sobreflujo. En este caso se habla de análisis de sobreflujo o pruebas cortas. El método más común para realizar los análisis de sobreflujo es el de las curvas tipo.

Cuando un pozo se cierra normalmente presenta, como ya se dijo, el fenómeno de sobreflujo y una curva de $(P_i - P_{ws})$ vs $\log \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}$ presenta la siguiente forma para un rango amplio de valores Δt :



La zona 1 está afectada por los efectos del pozo (completamiento parcial y sobreflujo) la zona 2 corresponde al periodo transiente después que ha desaparecido el efecto de almacenaje y la zona 3 corresponde el periodo pseudoestable, el yacimiento tiene comportamiento de yacimiento finito.

La zona 1 se conoce como zona de tiempos iniciales (Early Time Region, ETR), la zona 2 como de tiempos medios (Mean Time Region, MTR) y la zona 3 como zona de tiempos tardíos o finales (Late Time Region, LTR).

Las pruebas de presión generalmente se analizan en la zona 2; pero hay veces que la zona 1 se prolonga tiempo suficiente para no poder tener el periodo transiente libre del efecto de almacenaje. En este caso, por ejemplo, en la prueba de restauración al analizarla por el método de Horner no es posible conseguir la línea recta y por lo tanto se requieren técnicas de análisis de pruebas cortas o de sobreflujo.

6.1 -. Concepto de Almacenaje.

El efecto del almacenaje se puede analizar la siguiente manera:

Supongamos un pozo en el que la tasa de flujo en superficie es q BN/D, y la tasa de flujo de la formación hacia el fondo del pozo es q_{sf} BN/D. Cuando $q_{sf} = q$ se tiene el pozo estabilizado y no hay efecto de almacenaje; cuando son diferentes hay efecto de almacenaje.

La tasa de flujo en superficie, q , será mayor que q_{sf} cuando se abre el pozo, ya que parte del fluido que sale a superficie es por expansión de los fluidos almacenados en el pozo. La tasa de flujo en el fondo del pozo, q_{sf} , por su parte será mayor que q cuando el pozo se cierra o se reduce su tasa de flujo, pues la formación seguirá produciendo, después de cerrar el pozo o reducir su tasa de flujo, a la tasa a la que lo venía haciendo hasta que la perturbación ocasionada en la cabeza del pozo llegue a la cara de la formación.

La diferencia en tasas de flujo se manifestará en un cambio en el nivel de líquido en el pozo en caso que el pozo esté lleno con líquido y gas o en un cambio en el volumen total de fluido cuando el pozo está completamente lleno con líquido o con gas.

Cuando el pozo tiene líquido y gas la situación es la que se muestra en la figura 16

El cambio de altura se puede plantear de la siguiente forma:

$$A_w * \frac{dz}{dt} = (q_{sf} * B - q * B) \tag{6.1}$$

suponiendo que los factores volumétricos son iguales, el tiempo t está en horas y A_w en pies² se tiene

$$\frac{24}{5.615} * A_w * \frac{dz}{dt} = (q_{sf} - q) * B \tag{6.2}$$

La presión en el fondo del pozo despreciando el peso de la columna de gas, se puede calcular de

$$P_w = P_i + \frac{\rho * z}{144} * \frac{g}{g_c}$$

y si consideramos que P_i , la presión en la cabeza del pozo, es constante

$$\frac{dP_w}{dt} = \frac{\rho}{144} * \frac{g}{g_c} * \frac{dz}{dt}$$

y llevando esta expresión a la ecuación (6.2) se tiene:

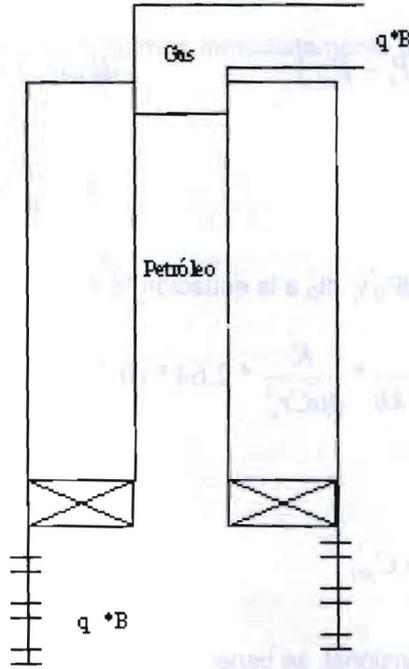


Figura 30-. Situación de un Pozo con Interfase Líquido-Gas

$$\frac{24}{5.615} * \frac{144}{\rho} * \frac{g_c}{g} * A_w * \frac{dP_w}{dt} = (q_{sf} - q) * B$$

y llamando

$$C_s = \frac{144}{5.615} * \frac{g_c}{g} * \frac{A_w}{\rho} \tag{6.3}$$

almacenaje del pozo se tiene:

$$24 * C_s * \frac{dP_w}{dt} = (q_{sf} - q) * B$$

de donde:

$$q_{sf} = 24 \frac{C_s}{B} * \frac{dP_w}{dt} + q \quad (6.4)$$

De acuerdo con la ecuación (6.3) las unidades de almacenaje son barriles/Lpc. O sea que C_s representa la variación en volumen del fluido en el pozo por cada Lpc. que cambie la presión en el fondo del pozo; y como se ve depende de las características del fluido y del pozo.

En la ecuación (6.4) dP_w y dt se pueden dar en términos de variables adimensionales pues

$$P_D(t_D) = 0.00708 \frac{kh}{q\mu B} * (P_i - P_{wf}) \quad dP_D(t_D) = -0.00708 \frac{kh}{q\mu B} * dP_w$$

y

$$t_D = 2.64 * 10^{-4} \frac{kt}{\phi\mu Cr_w^2} \quad dt_D = 2.64 * 10^{-4} \frac{k}{\phi\mu Cr_w^2} * dt$$

Si se llevan las expresiones para dP_D y dt_D a la ecuación (6.4) se tiene:

$$q_{sf} = -24 \frac{C_s}{B} * \frac{q\mu B}{0.00708 * kh} * \frac{K}{\phi\mu Cr_w^2} * 2.64 * 10^{-4} \frac{dP_D}{dt_D} + q$$

y si llamamos

$$\frac{24 * 2.64 * 10^{-4}}{0.00708} * \frac{C_s}{\phi h Cr_w^2} = C_{SD} \quad (6.5)$$

la constante de almacenaje adimensional, se tiene:

$$q_{sf} = q - C_{SD} * q \frac{dP_D}{dt_D} = q \left(1 - C_{SD} * \frac{dP_D}{dt_D} \right) \quad (6.6)$$

Por otra parte, si el pozo está lleno con un sólo fluido, petróleo o gas, se puede plantear el almacenaje de la siguiente manera:

$$(q_{sf} - q) * B = V_w * C * \frac{dP_w}{dt} * 24$$

donde c es la compresibilidad del fluido; y llamando

$$C_S = V_w * c \quad (6.7)$$

se tiene:

$$q_{sf} = q + \frac{C_S}{B} * 24 * \frac{dP_w}{dt}$$

que es la misma ecuación (6.5) y por lo tanto se puede llevar a la ecuación (6.6).

La ecuación (6.5) se puede considerar como la condición de límite para resolver la ecuación de difusividad cuando hay presencia del efecto de almacenaje, la cual se debe aplicar a cambio de la condición de línea fuente.

La solución para este tipo de situación se ha dado en forma gráfica donde aparece en la ordenada $P_D(t_D)$ y en la abscisa t_D y como parámetro C_{SD} y el factor S . Esta solución aparece en la figura 31

El comportamiento de la figura se explica de la siguiente manera:

Para periodos de tiempo iniciales, supongamos inmediatamente después al abrir el pozo, $q_{sf} = 0$ y por tanto la ecuación (6.6) se puede llevar a

$$\frac{q_{sf}}{q} = 1 - C_{SD} * \frac{dP_D}{dt_D} = 0$$

$$C_{SD} dP_D = dt_D \quad C_{SD} P_D = t_D \quad \text{ó}$$

$$\frac{C_{SD} * P_D}{t_D} = 1 \quad (6.8)$$

De acuerdo con la ecuación (6.8) se tiene:

$$\log C_{SD} + \log P_D = \log t_D$$

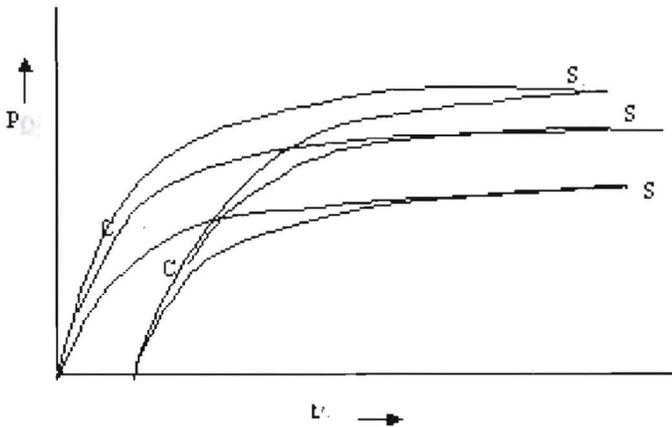


Figura 31-. Forma de la Solución de la Ecuación (6.5)

o sea que un gráfico de $\log P_D$ vs $\log t_D$ es una recta con pendiente 1 e intercepto $-\log C_{SD}$.

Cuando no ha empezado a fluir el pozo, no hay presencia del factor de daño y por tanto el parámetro de las curvas es solamente C_{SD} .

Cuando q_{sf} ya no es igual a cero, empieza a aparecer el efecto del daño inicialmente en forma simultánea con el almacenaje; la línea deja de ser única y se comportará de acuerdo con el daño.