

MAPEO DE CORRELACIONES DE FLUJO MULTIFASICO VERTICAL

Anthony Alfaro Pérez
Petrobras Energía S.A.

Resumen :

El trabajo comprendió los siguientes aspectos :

- Se realizó un relevamiento de todas las gradientes dinámicas de flujo multifásico vertical de los pozos de gas lift y surgentes, tomadas en los últimos 5 años un yacimiento en el oriente de Venezuela.
- Se seleccionaron las respectivas correlaciones que modelan el flujo vertical con cada una de las condiciones de operación que se tenían (Producción de agua, petróleo y gas, API del petróleo y diámetro de la sección de flujo).
- Con toda esta información, se creó una base de datos y un programa que determina la correlación de flujo vertical multifásico que mejor modela el comportamiento del flujo para una condición dada.
- Se corrió el programa con los datos de operación de las gradientes dinámicas existentes y el porcentaje de acierto de la mejor correlación a usar, respecto a los softwares que se usan para el matcheo, fue del 100%, dándole una gran confiabilidad.

Con este trabajo se pretende :

- Disminuir la cantidad de gradientes dinámicas que se realizan en esta área y por lo tanto disminuir los costos de operación.
- Tener un programa que cuando se requiera, indique de manera rápida y confiable, la mejor correlación que se deba usar para modelar el flujo vertical multifásico.

Introducción

El requerimiento del valor de la presión dinámica de fondo (P_{wf}), para determinar la curva de comportamiento productivo (IPR), para el caso de pozos con surgencia natural y gas lift continuo, hacen que se recurra a las correlaciones de flujo multifásico que menciona la literatura y que hay disponible en muchos softwares.

El flujo vertical multifásico para un pozo es muy complejo, este depende de variables que a su vez son interdependientes, P_{wh} (presión en cabeza), RGL (Relación Gas Líquido), Diámetro de Tubería, Propiedades del fluido, etc.

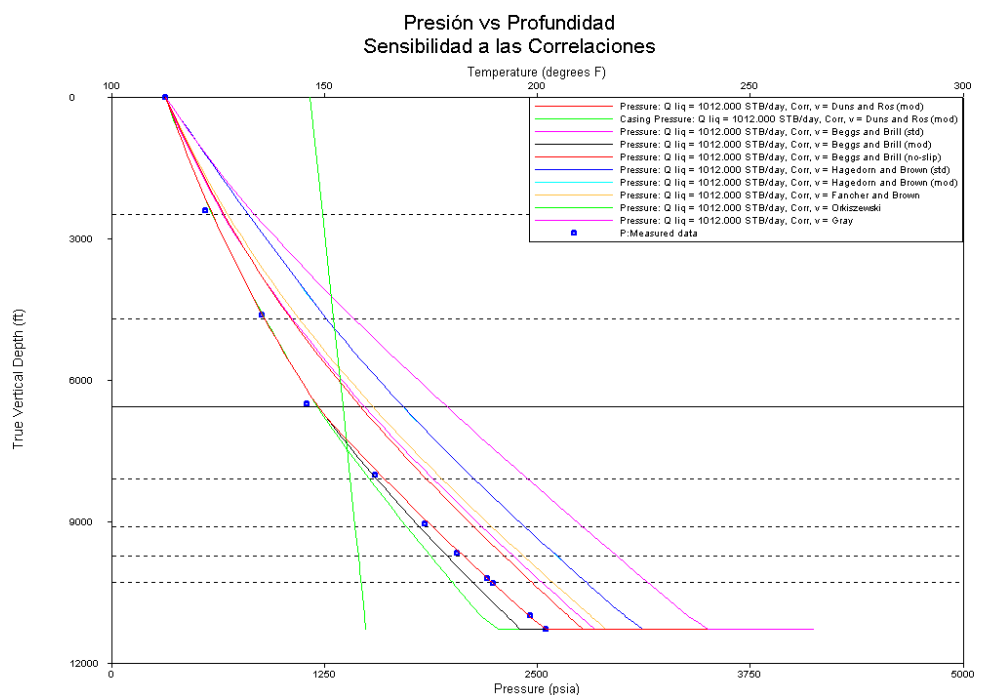
Hay más de 10 correlaciones que se usan para modelar el flujo multifásico vertical de un pozo petrolero, que difieren entre sí, según las condiciones operativas que se presenten. Pero ¿Cuál es la correlación que se debe usar?. El método de tomar una gradiente dinámica, para luego matchear los puntos obtenidos contra las diferentes correlaciones que se usan, permiten determinar la correlación que se debe usar. Pero que ocurre cuando no se cuenta con los medios económicos para realizar una gradiente dinámica cada vez que se requiera; o tal vez, para realizar un análisis en particular, se requiera obtener inmediatamente la correlación que debe usarse, para tomar una determinada decisión; o realizar simulaciones para diferentes condiciones de operación. Es en estas situaciones mencionadas, que este trabajo desarrollado permite encontrar la solución.

Para el trabajo, se hizo un relevamiento de las gradientes dinámicas de presión más representativas del área, con su respectiva correlación seleccionada, el porcentaje de coincidencia (Match) y la desviación de la correlación (Lv). Se establecieron las principales variables que gobiernan el flujo multifásico, Qb (caudal bruto), RGL (relación gas – líquido), Diámetro Tubing, % AyS (agua y sedimentos) y API (densidad API del petróleo). Mediante la técnica de Regresión Lineal, por el Método de Mínimos Cuadrados, se realizó un programa que permite interrelacionar estas variables y obtener con bastante precisión la mejor correlación que modela el flujo vertical de un pozo. Se probaron estas mismas gradientes reales contra el programa y se obtuvo el 100% de coincidencia, dándole una gran confiabilidad al mismo.

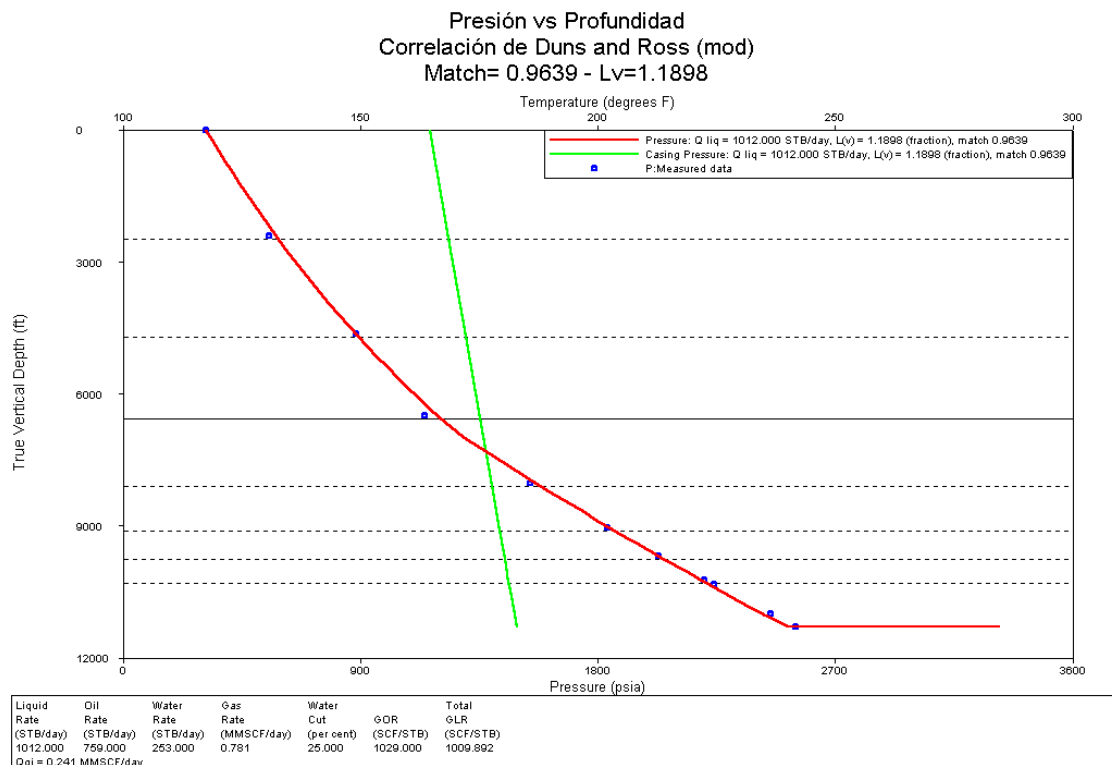
Por lo tanto, esta programa permite determinar de manera rápida y confiable, la mejor correlación que debe usarse en el flujo multifásico vertical para cualquier condición de operación dada, reducir los costos al disminuir la toma gradientes dinámicas en esta área y modelar cualquier condición de operación que se requiera.

Desarrollo :

- En este yacimiento, se relevó información de gradientes dinámicas de presión y temperatura, con fechas y condiciones de operación diferentes, correspondientes a pozos de Gas Lift. Se realizó el Matcheo de las gradientes contra las correlaciones que se muestran en el soft “WellFlow”, tal como se indica en el gráfico siguiente :



En el gráfico se muestra las diferentes correlaciones que tiene el soft “WellFlow” y los puntos correspondientes a la gradiente dinámica real del pozo. Se puede observar que los puntos de la gradiente, matchean a una correlación en particular, la misma que puede verse con más detalles a continuación.



Se puede notar que la correlación de Duns and Ross (mod), con un match de 96.39%, con un Lv de 1.1898 es la que mejor modela el comportamiento del flujo vertical para este caso. El match representa el porcentaje de coincidencia de una correlación, respecto a los puntos de la gradiente dinámica medida. El coeficiente Lv es un factor de corrección de una correlación, que se usa para ajustarla hacia los puntos medidos por la gradiente dinámica.

- Se establecieron 5 variables importantes que tienen incidencia en el comportamiento del flujo vertical, siendo estas : Relación Gas Líquido (RGL), Porcentaje de Agua (% Agua), API del petróleo, Diámetro del tubing y Caudal bruto (Qb).
- Para cada correlación seleccionada, se prepararon las planillas de cálculo, con la variables definidas, el valor del Match y de Lv. La tabla siguiente muestra los datos de la correlación de Duns and Ross (std).

Qb	%AyS	RGLt	Diam.	API	Lv	Match	Corr
17	1.00%	20588	2.374	25.0	1.0024	0.9112	DR-STD
125	2.80%	4511	2.375	24.2	0.8482	0.8155	DR-STD
380	1.60%	4066	2.375	23.8	1.1652	0.8716	DR-STD
1116	15.00%	856	2.375	25.0	0.9855	0.9738	DR-STD
65	6.00%	11815	2.375	21.5	1.1284	0.7922	DR-STD
262	52.00%	1701	2.375	28.5	1.1939	0.9157	DR-STD
152	40.00%	4296	2.375	32.6	1.2901	0.9025	DR-STD

- Para cada correlación se estableció la ecuación que relaciona el Match y el Lv con las variables establecidas. Se usó el método de regresión lineal con la técnica de los mínimos cuadrados. La ecuación es de la forma :

$$Match = m_1.Qb + m_2.RGL + m_3.\%Agua + m_4.API + m_5.DiamTbg + b$$

$$Lv = m_6.Qb + m_7.RGL + m_8.\%Agua + m_9.API + m_{10}.DiamTbg + d$$

Haciendo :

$$x_i = Qb, RGL, \%Agua, API, DiamTbg$$

$$Y_i = Match, Lv$$

Entonces :

$$Y_i = f(x_i)$$

Si “n” es el número de datos que se tiene para esta correlación, los cálculos de las constantes son :

$$m_i = \frac{n \cdot \left(\sum_{j=1}^n x_j \cdot y_j \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n x_j \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n y_j \right)}{n \cdot \left(\sum_{j=1}^n x_j^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2} \quad i=1,2,3,4,5 \text{ ó } 6,7,8,9,10$$

$$b_i, d_i = \frac{\left(\sum_{j=1}^n y_j \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n x_j^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^n x_j \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n x_j \cdot y_j \right)}{n \cdot \left(\sum_{j=1}^n x_j^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2}$$

Por lo tanto, las constantes “b” y “d” se obtienen de la siguiente manera :

$$b = \sum_{i=1}^5 b_i$$

$$d = \sum_{i=6}^{10} d_i$$

Los valores de las constantes de la ecuación que usa esta técnica, para cada una de las variables consideradas y cuyos datos se muestran en la tabla de la correlación de Duns and Ross (std), antes mencionada, es la que se muestra a continuación. Se observa también el cálculo del Match y del Lv con la ecuación determinada, pudiéndose notar la similitud con los valores medidos en la gradiente dinámica tomada.

Lv	Match	Coeficientes de ecuación (Match)					
1.0024	0.9112	m5	m4	m3	m2	m1	b
0.98841	0.82649	0.004543227	-133.0926424	-2.26557E-06	0.090352441	0.000129342	316.8030936
0.98636	0.85758						
1.03407	0.97761	R2	0.986				
1.13616	0.79281						
1.17945	0.91457	Coeficientes de ecuación (Lv)					
1.28685	0.90225	m5	m4	m3	m2	m1	b
		0.021103941	426.0114488	2.72871E-05	0.335054453	8.84303E-05	-1011.443019
		R2	0.598				

- De la misma manera se procedió a formular las ecuaciones de las otras correlaciones seleccionadas, para diferentes gradientes dinámicas tomadas y con ayuda del Visual Basic del Excel, se preparó la herramienta final, que interrelaciona todas las correlaciones para una condición de operación dada y selecciona la que mejor “Match” tiene con su correspondiente Lv. La herramienta muestra a su vez todos los “Match” y “Lv”, que cada una de las correlaciones tiene para la condición de operación dada.

Yacimiento Mata - Venezuela					
Modelo para determinar Correlación de Flujo Multifásico Vertical en este Yacimiento					
Variables :					
Caudal Bruto	134	bpd	Nuevo Cálculo		
% de Agua	75.00%				
RGL	5530	pc/b			
Diam. Tbg	2.375	pulg.			
API	34				
Correlación : Orkizewski					
Match : 98.13 % Lv : 1.1674					
Correlacion	BB(n-s)	BB(mod)	DR(mod)	DR(std)	FB
Match	0.718	8.553	6.600	0.935	2.139
Lv	3.503	17.212	10.877	1.466	4.920
Correlacion	HB(std)	Ork	Gray	BB (std)	
Match	37.892	0.981	18.391	0.892	
Lv	22.628	1.167	33.101	1.021	

Conclusiones :

- Se realizaron “corridas” de comprobación con las gradientes dinámicas tomadas. El modelo muestra la misma correlación que se obtiene al matchear la gradiente con el software WellFlow (100% de acierto).
- Lo anterior indica que las probabilidades de utilizar la correlación correcta para cualquier condición de operación de cualquiera de los pozos en esta área, sería del 100%.
- La Herramienta representa una buena técnica de “mapeo” de correlaciones de un yacimiento, que considera 5 variables, permitiendo determinar la correlación más adecuada para modelar la performance vertical del flujo multifásico de un pozo, para unas condiciones de operación dada.

Recomendaciones :

- Usar la herramienta solo en el caso de no disponer historia de gradientes dinámicas del pozo.
- En el caso de disponer de gradientes dinámicas, usar estas, para modelar el flujo vertical multifásico de los pozos, no usar la herramienta.
- Ajustar la herramienta con las futuras gradientes que se realicen en el yacimiento, es muy importante la consistencia de la información de las condiciones de operación en la fecha en que se realiza la gradiente.

Bibliografía :

- Manual del software Flosystem

Agradecimiento :

El autor agradece a Pecom Energía S.A. por permitir publicar este trabajo