



Terminación y Mantenimiento de Pozos Fluidos de Terminación

Ing. Juan Carlos Sabido Alcántara

Ingeniero Petrolero

Facultad de Ingeniería UNAM



Fluidos de Terminación

- Es el fluido que se utiliza durante la terminación del pozo y proporciona la presión hidrostática por columna de fluido suficiente para mantener el pozo controlado mientras se realizan operaciones como disparos, registros e introducción del aparejo de producción. Además, de ser necesario, se queda como fluido empacador durante la vida productiva del pozo. Entre sus características se encuentran:
 1. No ser dañino a la formación.
 2. No corrosivo.
 3. Estable térmicamente.
 4. Capaz de controlar las presiones del yacimiento.

Fluidos de Terminación

- Se clasifican en:

Fluidos de
terminación

Diesel o Aceite crudo

Fluidos limpios

Agua dulce
filtrada
Salmueras

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- Dependiendo de las condiciones de logística, operativas y/o de diseño el fluido de terminación se puede introducir al pozo en dos momentos distintos:
 1. Durante la cementación de la última tubería de revestimiento.
 2. Después de la cementación o durante el anclaje de un liner no cementado.

Fluidos de Terminación

- ***Cambio de fluido y limpieza del pozo.***
- Después de realizar la cementación de la última TR con lo que se da por terminada la perforación, el lavado de pozos es la primera operación de la terminación de un pozo y consiste en desplazar el lodo de perforación empleado en la última etapa, por un fluido libre de sólidos.

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- Para un lavado eficiente se deben de considerar los siguientes factores:
 1. Aparejo de limpieza.
 2. Baches de limpieza.
 3. Presión requerida.
 4. Eficiencia de acarreo de sólidos.

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
 1. El aparejo de limpieza: puede ser la misma tubería de perforación como sarta de trabajo, o utilizar tubería flexible, depende del fluido con el que se realice la limpieza.
 2. Baches de limpieza: Son baches intermedios entre el lodo de perforación y el fluido de terminación para obtener un buen barrido de sólidos. Se clasifican en tres tipos, baches espaciadores, lavadores y viscosos.

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- Baches de limpieza - baches espaciadores: evitan que el fluido de terminación tenga contacto con el lodo de perforación evitando la contaminación del fluido limpio, su densidad debe ser ligeramente inferior a la del lodo de perforación.
- Baches de limpieza - baches lavadores: este se bombea después del espaciador y su función es lavar el posible enjarre del lodo de perforación que se forme en la tubería. La base de estos baches es agua o aceite.

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- Baches de limpieza - baches viscosos: entran después del bache lavador y su función es llevar a la superficie la mayor cantidad de sólidos posibles.

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**

3. Presión requerida: Es la presión que se requiere para realizar el desplazamiento del lodo de perforación por el fluido de terminación de manera eficiente y segura.

$$P_{reqm\acute{a}x} = (P_{hea} - P_{hi}) + \Delta P_{fricc}$$

$$P_{reqm\acute{a}x} = \text{Presión M\acute{a}xima Requerida [psi]}$$

$$P_{hea} = \text{Presión Hidrost\acute{a}tica Espacio Anular [psi]}$$

$$P_{hinterior} = \text{Presión Interior [psi]}$$

$$\Delta P_{fricc} = \text{Caídas de presión por fricción [psi]}$$

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- **Presión requerida:** Calcular la presión máxima requerida en un pozo vertical con un aparejo de 5,500 [m] de longitud que utilizará un fluido de terminación de 1.05 [gr/cm^3] para desplazar un lodo de 1.95 [gr/cm^3], considerar las pérdidas presión por fricción como 2,500 [psi].

$$P_{reqm\acute{a}x} = (P_{hea} - P_{hi}) + \Delta P_{fricc}$$

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- **Presión requerida:** La máxima presión requerida se presentara cuando el interior de la sarta se encuentre lleno del fluido de terminación y el espacio anular lleno de fluido de perforación.

$$P_{hea} = 15,250 [psi]$$

$$P_{hinterior} = 8,212 [psi]$$

$$\Delta P_{fricc} = 2,500 [psi]$$

$$P_{reqm\acute{a}x} = 9,538 [psi]$$

La operación **NO** puede llevarse a cabo con la bomba de un equipo convencional, se requerirá una Unidad de Alta Presión de 10,000 [psi] o de mayor capacidad.

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
4. Eficiencia de acarreo. La eficiencia de acarreo de sólidos en un sistema estará en función de muchos factores algunos de los cuales serán:
- Densidad y reología del fluido
 - Tamaño del espacio anular y su excentricidad
 - Velocidad anular y régimen de flujo
 - Rotación de la tubería
 - Densidad tamaño y forma de los sólidos

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- Para el caso de fluidos de terminación las partículas a remover serán los sólidos contenidos en el lodo de perforación y de esos sólidos las partículas de BARITA, serán las más pesadas por lo que si aseguramos la limpieza de partículas de barita, aseguramos la remoción de todas las demás, para efectos de diseño se tomará la densidad de la barita como $4.2 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$ y el diámetro de sus partículas como $0.003''$.

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- Para el cálculo de la velocidad de resbalamiento de las partículas de barita se utilizará la ecuación de Moore, se trata de una ecuación para calcular la velocidad de resbalamiento de los recortes que dependerá del número de Reynolds que tenga la partícula (en este caso la partícula de barita), del diámetro de la partícula y de la velocidad anular del fluido.

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- El número de Reynolds se calcula con la siguiente ecuación:

$$N Re_p = 15.47 \frac{\rho_f v_r d_p}{\mu_a}$$

NRep = Número de Reynolds de la partícula (adimensional)

f = Densidad del fluido [lb/gal]

r = Velocidad de resbalamiento de la partícula [pie/min]

dp = Diámetro de la partícula [pg]

μ_a = viscosidad aparente [Cp]

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- La viscosidad aparente se calculará con la siguiente ecuación:

$$\mu_a = \left[\frac{2.4 v_a}{(Da^2 - dt^2)} \left(\frac{2n+1}{3n} \right) \right]^n \frac{200 k(Da - dt)}{v_a}$$

μ_a = Viscosidad aparente [Cp]

a = Velocidad del fluido en el espacio anular [pie/min]

Da = Diámetro del agujero [pulg]

dt = Diámetro exterior de la tubería [pulg]

n = Índice de comportamiento de flujo [adimensional]

k = Índice de consistencia [$lbf * seg^n / 100pie^2$]

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- La velocidad de resbalamiento dependerá del valor del número de Reynolds de la partícula:

$$v_r = \frac{4,980 d_p^2 (\rho_p - \rho_f)}{\mu_a} \quad NRe_p < 1$$

$$v_r = \frac{175 d_p (\rho_p - \rho_f)^{0.667}}{\rho_f^{0.333} \mu_a^{0.333}} \quad 1 < NRe_p < 2000$$

$$v_r = 92.6 \left[\frac{d_p (\rho_p - \rho_f)}{\rho_f} \right]^{0.5}$$

$$NRe_p > 2000$$

ρ_f = Densidad del fluido [lb/gal]

d_p = Diámetro de la partícula [pulg]

v_r = Velocidad de resbalamiento de la partícula [pie/min]

μ_a = viscosidad aparente [Cp]

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- Las correlaciones para calcular la velocidad de resbalamiento de una partícula se hicieron para un régimen de flujo LAMINAR, por lo que únicamente serán aplicables en ese tipo de régimen de flujo.
- El flujo turbulento es el más eficiente para el desalojo de recortes y/o sólidos por lo que, en caso de poder obtener flujo turbulento NO se requerirá (ya que no es aplicable) el cálculo de la velocidad de resbalamiento.

Fluidos de Terminación

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**
- Ejemplo: Determine si un gasto de 200 [gal/min] es adecuado para lavar un pozo cuyo bache lavador tiene una densidad de 1.05 [gr/cm^3], $n=0.65$, $K=0.385$, se utiliza un aparejo de trabajo de 3.5" dentro de una T.R. de 9 5/8" con D.I.=8.5", utilice la correlación de Moore.
- El procedimiento consiste en calcular la velocidad anular y la viscosidad aparente, después seleccionar una de las tres ecuaciones de velocidad de resbalamiento y calcular la misma, para después calcular el número de Reynolds y verificar si la ecuación de velocidad de resbalamiento seleccionada es la adecuada.

- **Cambio de fluido y limpieza del pozo.**

$$v_a = 24.51 * Q / (D_{IntTR}^2 - d_{ExtTP}^2) = 81.7 [pie/min]$$

$$\mu_a = \left[\frac{2.4 v_a}{(Da^2 - dt^2)} \left(\frac{2n+1}{3n} \right) \right]^n \frac{200 k(Da - dt)}{v_a} \quad \mu_a = 11.32 [Cp]$$

$$v_r = \frac{4,980 d_p^2 (\rho_p - \rho_f)}{\mu_a} \quad v_r = 0.10 [pie/min]$$

Con el valor de V_r se calcula N_{rep} obteniendo 0.015, lo que confirma que la ecuación seleccionada es correcta, y como la velocidad anular del fluido es mucho mayor a la velocidad de resbalamiento de la partícula, el gasto utilizado es el adecuado.

Fluidos de Terminación

- **Fluidos limpios.**
- Son aquellos que EVITAN los fenómenos que ocasionan daño a la formación y disminuyen su productividad.
- Un fluido limpio ha sido definido como uno que NO contiene partículas de un diámetro mayor a 2 (dos) micras y dar un valor de turbidez NO mayor a 30 NTU.

- **Fluidos limpios.**

- Los fluidos limpios son agua filtrada o salmueras con un rango de densidad de $1.16 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$ hasta $2.50 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$.

	Dens. Máx (gr/c.c.)
▪ Agua filtrada	1.00
SALMUERAS	
▪ Cloruro de Potasio (KCl)	1.16
▪ Cloruro de sodio (NaCl)	1.19
▪ Cloruro de calcio (CaCl_2)	1.38
▪ Bromuro de sodio (NaBr)	1.52
▪ Bromuro de calcio (CaBr_2)	1.70
▪ Cloruro de calcio/Bromuro de calcio	1.81
▪ Bromuro de calcio/bromuro de zinc	2.42
▪ Bromuro de zinc (ZnBr_2)	2.50



GRACIAS

Ing. Juan Carlos Sabido Alcántara

Ingeniero Petrolero

Facultad de Ingeniería UNAM