

UNA VISIÓN GENERAL SOBRE EL DAÑO EN UNA FORMACIÓN PRODUCTORA DE HIDROCARBUROS

Sergio H. Lopera Castro

Profesor Escuela de Procesos y Energía

Facultad de Minas

Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

2018



¿Qué es Daño de Formación?

Técnicamente podríamos definir el daño de formación como todo proceso que causa una reducción en la productividad original de una formación productora de petróleo o gas o una reducción en la inyectividad de un pozo inyector de agua o gas. (Bennion, 2002)



El daño puede ocurrir durante operaciones de

- Perforación
- Completamiento
- Estimulación
- Reacondicionamiento de pozos
- Producción



Zona de daño típica en un pozo vertical

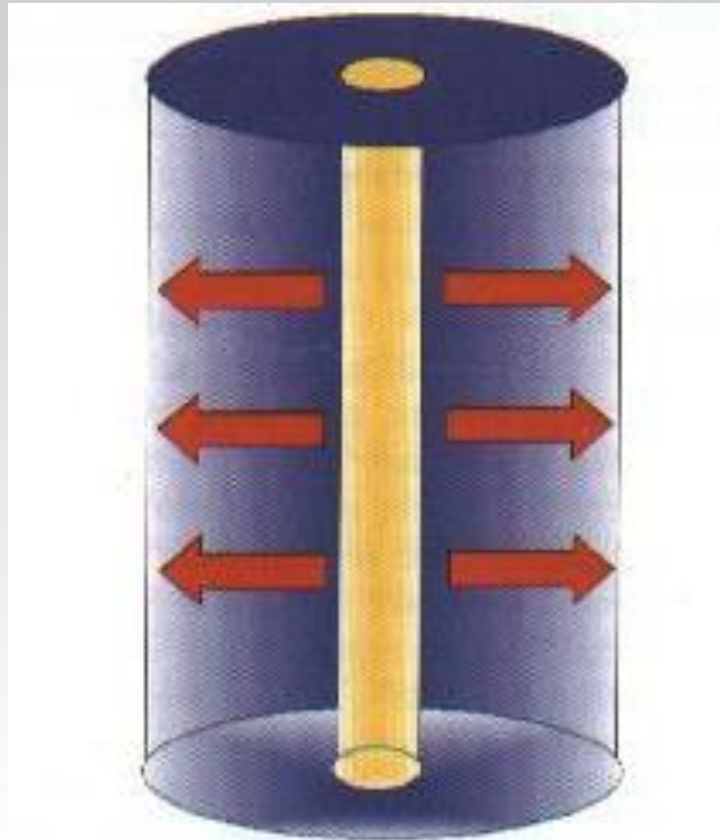
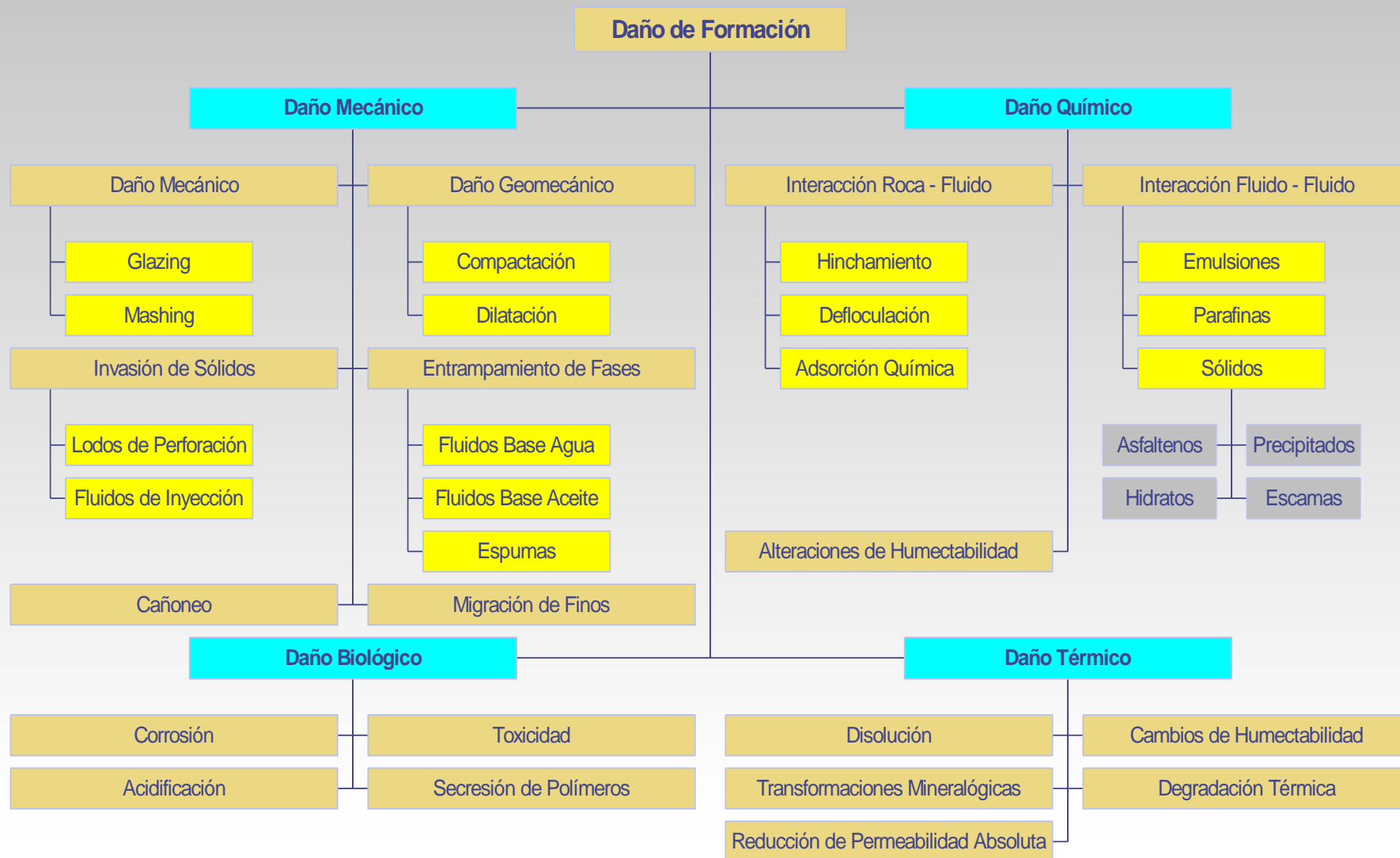
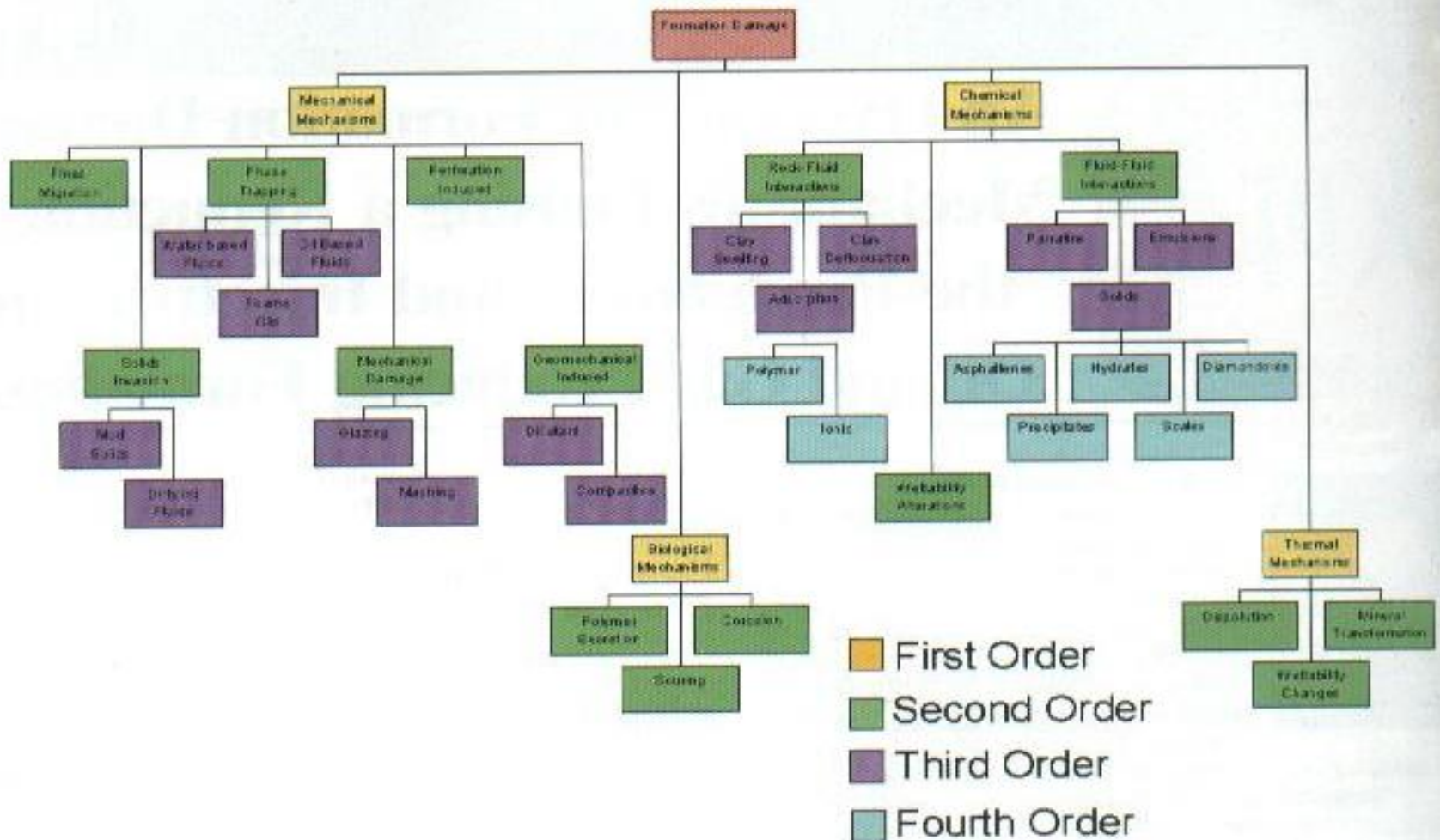


Figura 1. Zona de daño típica en un pozo vertical

Clasificación del daño de formación



Clasificación del daño de formación



Mecanismos primarios de daño de formación



➤ Mecanismos Mecánicos

- Migración de Finos
- Invasión de Sólidos
- Entrampamiento de Fases
- Daño Mecánico
- Cañoneo
- Daño Geomecánico

Migración de Finos

Partículas finas presentes en el medio poroso pueden desprenderse y migrar generando taponamiento y disminuyendo la permeabilidad. Este fenómeno puede presentarse a causa de altas tasa de flujo.

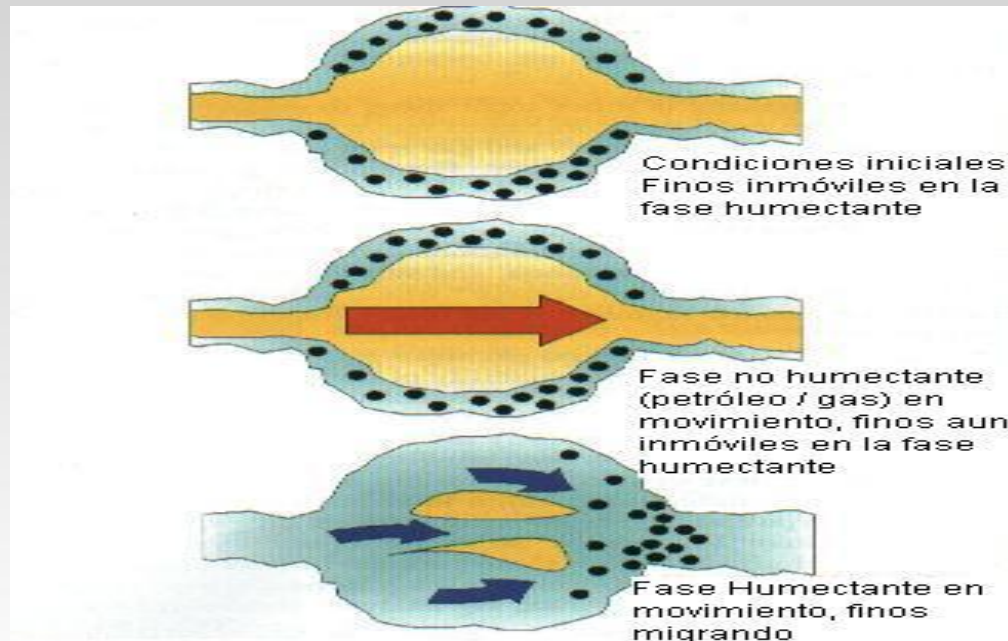
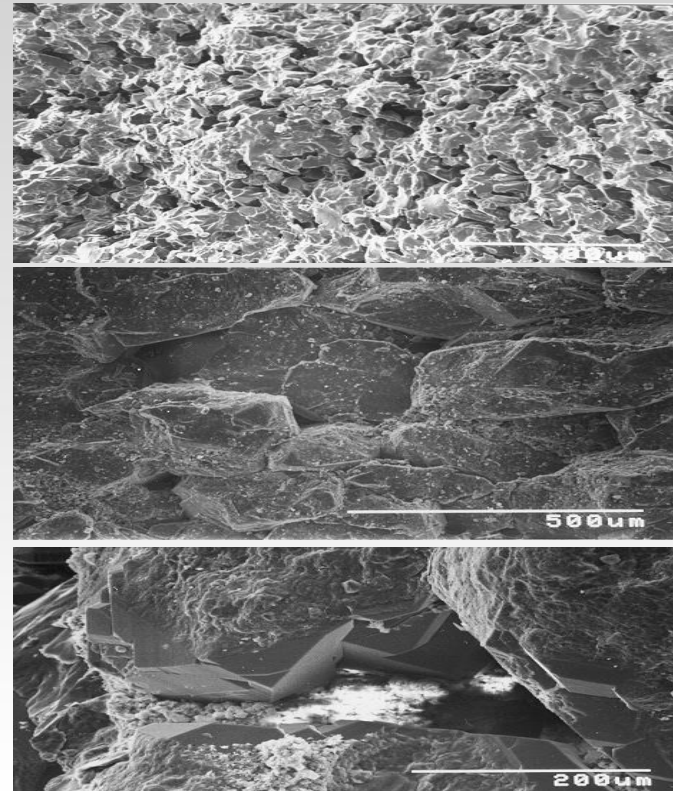


Figura 2. Efecto de humectabilidad sobre la migración de finos (caso de una formación humectada por agua)

Invasión de Sólidos

Partículas presentes en los fluidos que entran en contacto con el medio poroso pueden taponar los canales de flujo disminuyendo la permeabilidad.

- Sólidos en el Lodo de Perforación
- Sólidos en Fluidos de Inyección



Entrampamiento de Fases

Es una consecuencia de una combinación no deseada de efectos de presión capilar y permeabilidad relativa.

- Fluidos Base Agua
- Fluidos Base Aceite
- Espumas

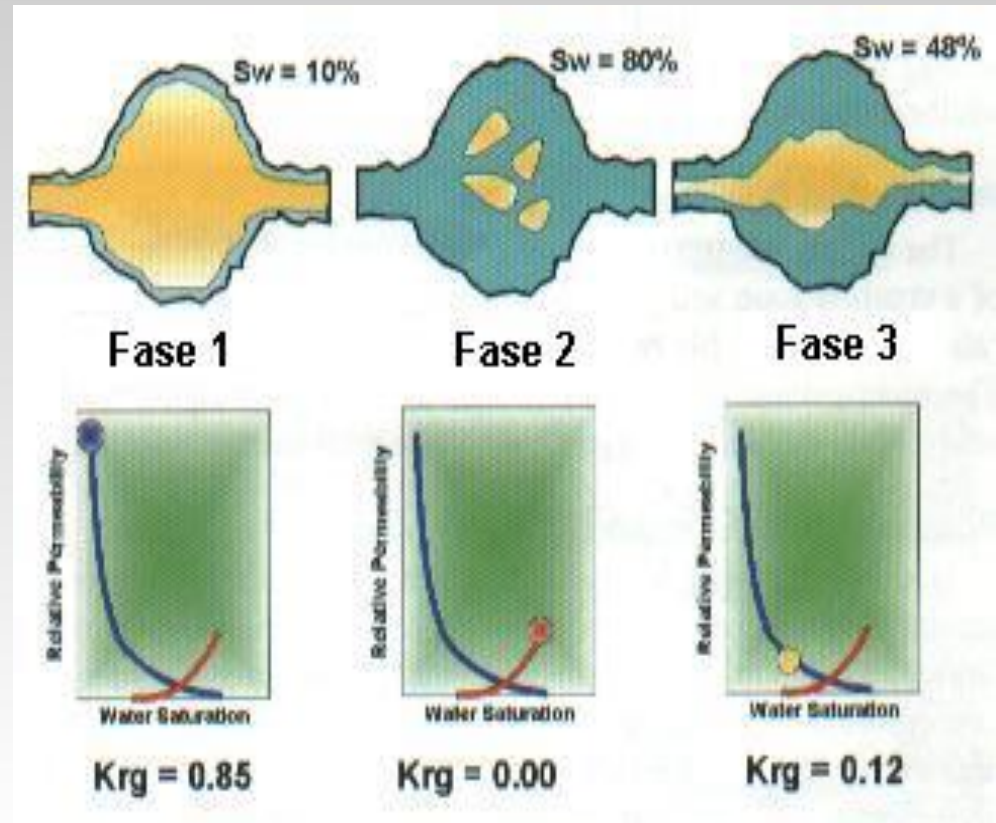


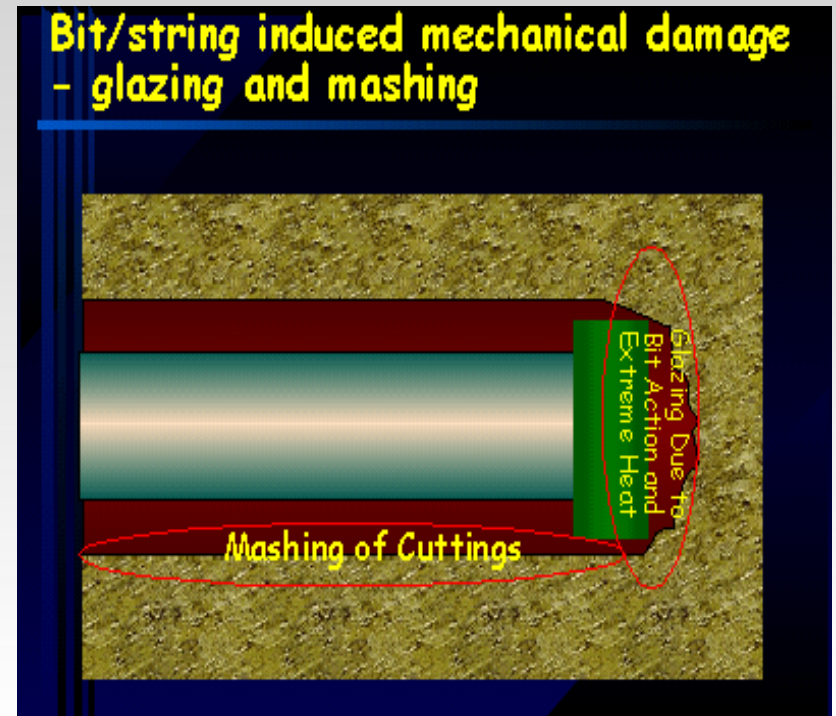
Figura 3. Ilustración del entrampamiento de agua en un yacimiento de gas de baja permeabilidad

Daño Mecánico

Interacciones broca/calor/pared

Glazing: Es un daño generado por efectos el calentamiento la falta de centralización de la broca de perforación, en formaciones en que los cortes y los finos no son arrastrados de forma eficiente a superficie de tal forma que estos pueden entrar a la formación productora. Este puede ser reducido aumentando la lubricación de la broca.

Mashing: Se reduce mediante una buena limpieza de los sólidos presentes en el pozo.



Cañoneo

Las operaciones de cañoneo pueden generar taponamiento de la formación por movimiento de finos en el “túnel de cañoneo”

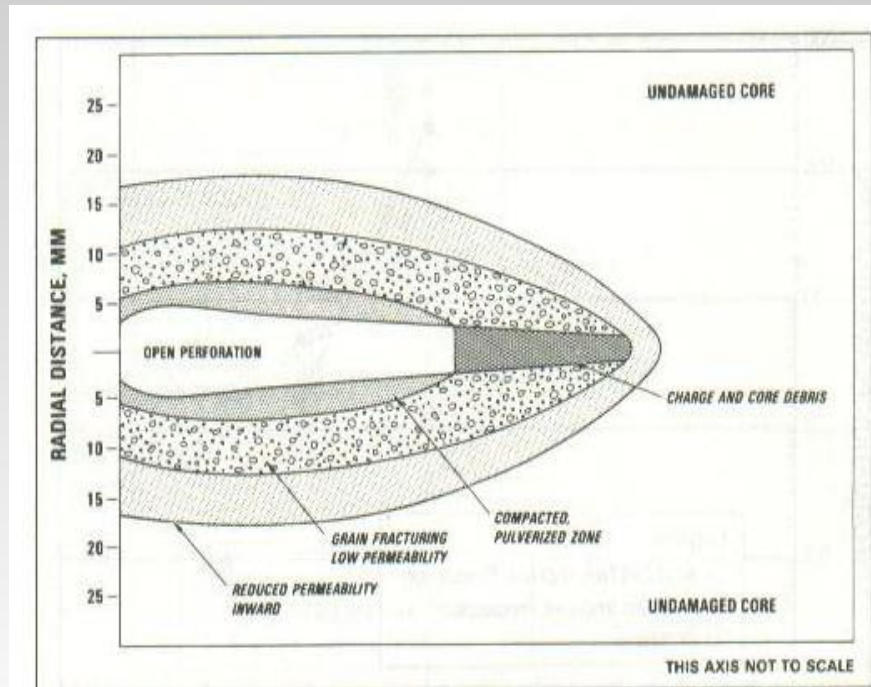


Figura 4. Efecto de la profundidad de disparo y la densidad de tiros sobre la productividad del pozo en una formación con daño por perforación.

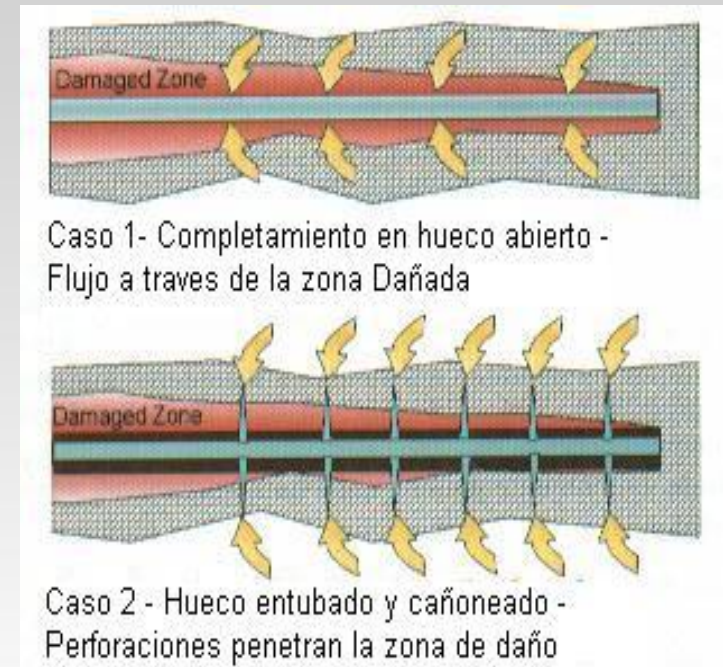
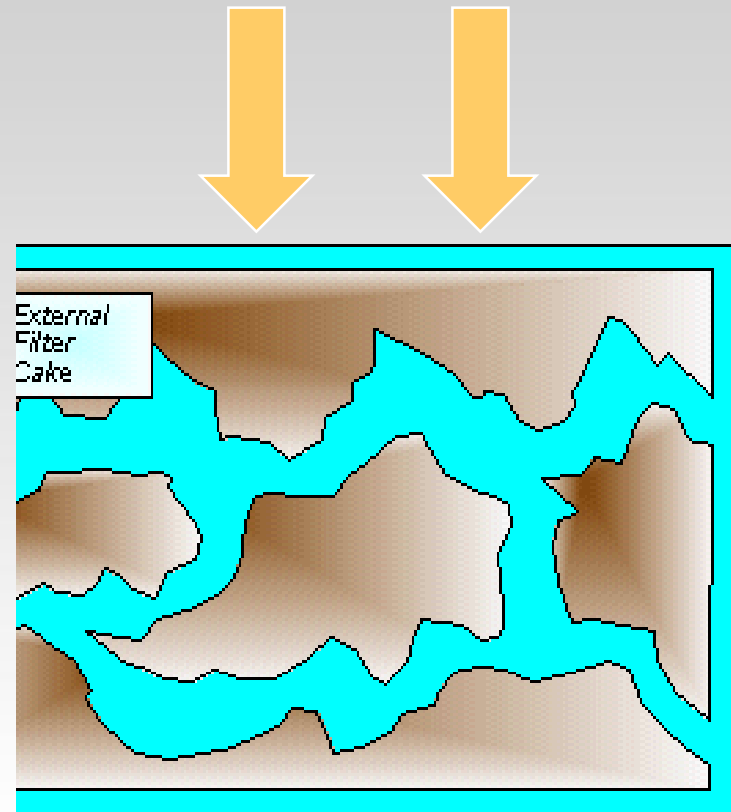


Figura 5. Efecto del daño de formación en los casos donde hay completamiento en hueco abierto y entubado respectivamente.

Daño Geomecánico

Reducción de espacio poroso por disminución de la presión de poro.

- Dilatación
- Compactación



➤ Mecanismos Químicos



Interacciones Roca - Fluido

Alteraciones en la Humectabilidad

Interacciones Fluido - Fluido

Hinchamiento de Arcillas

Interacciones Roca - Fluido

Existen cierto tipo de arcillas que pueden hincharse a causa de cambio en la salinidad del agua que las rodea y taponar las gargantas de los poros, entre estas la más crítica es la Mortmorillonita.

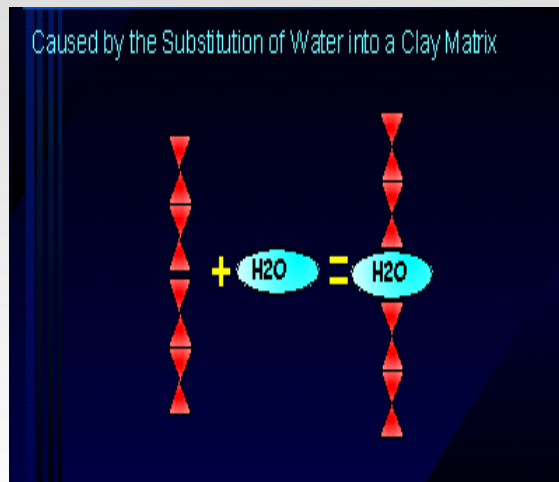


Figura 6. Hinchamiento de arcillas clásico

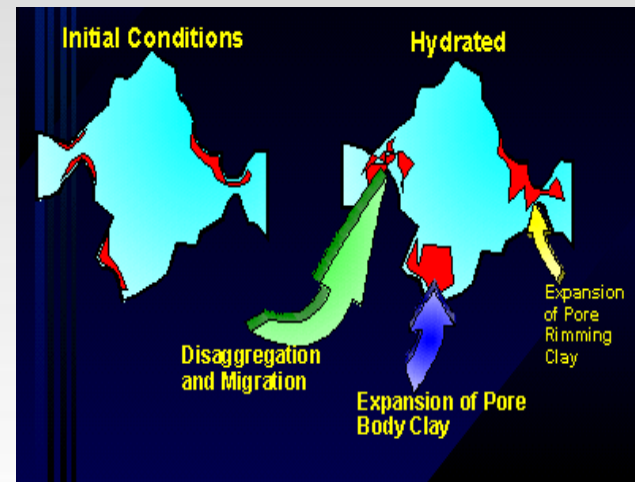


Figura 7. Reducción de permeabilidad debido al hinchamiento de arcillas

Defloculación de Arcillas

Interacciones Roca - Fluido

Una vez hinchadas las arcillas pueden desintegrarse generando finos que pueden migrar y taponar el medio poroso.

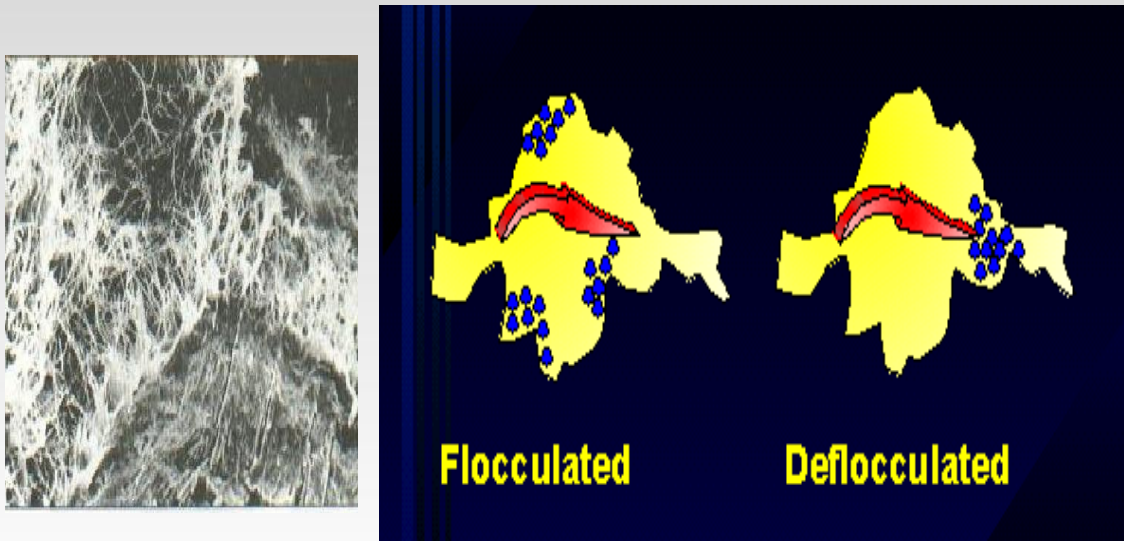


Figura 8. Mecanismo de defloculación de arcillas a escala de poro

Alteraciones en Humectabilidad

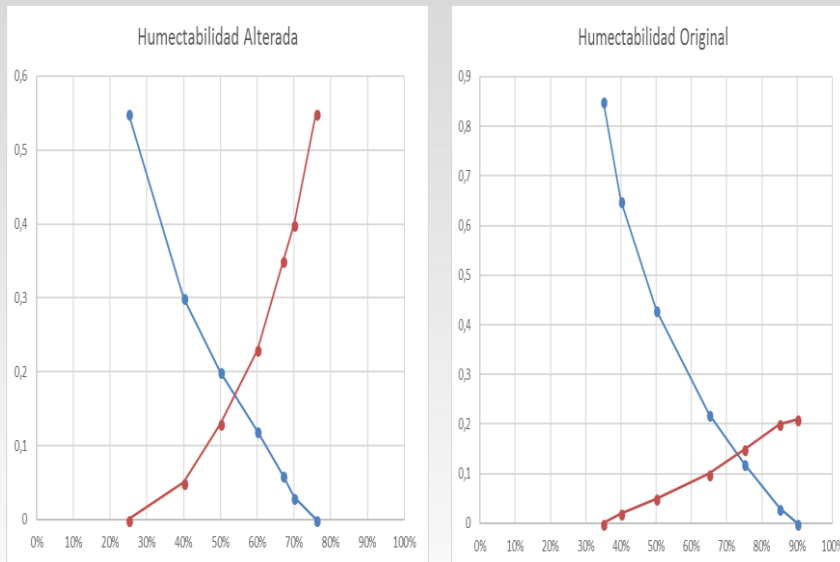


Figura 9. Alteración de la humectabilidad cerca a un pozo productor, en una formación humectable al agua

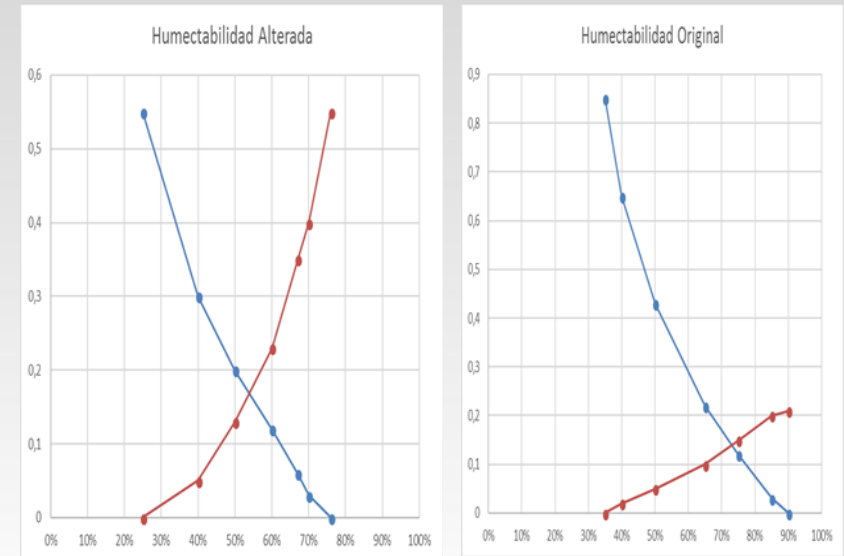


Figura 10. Alteración de la humectabilidad en un proceso de inyección de agua

Alteraciones en Humectabilidad

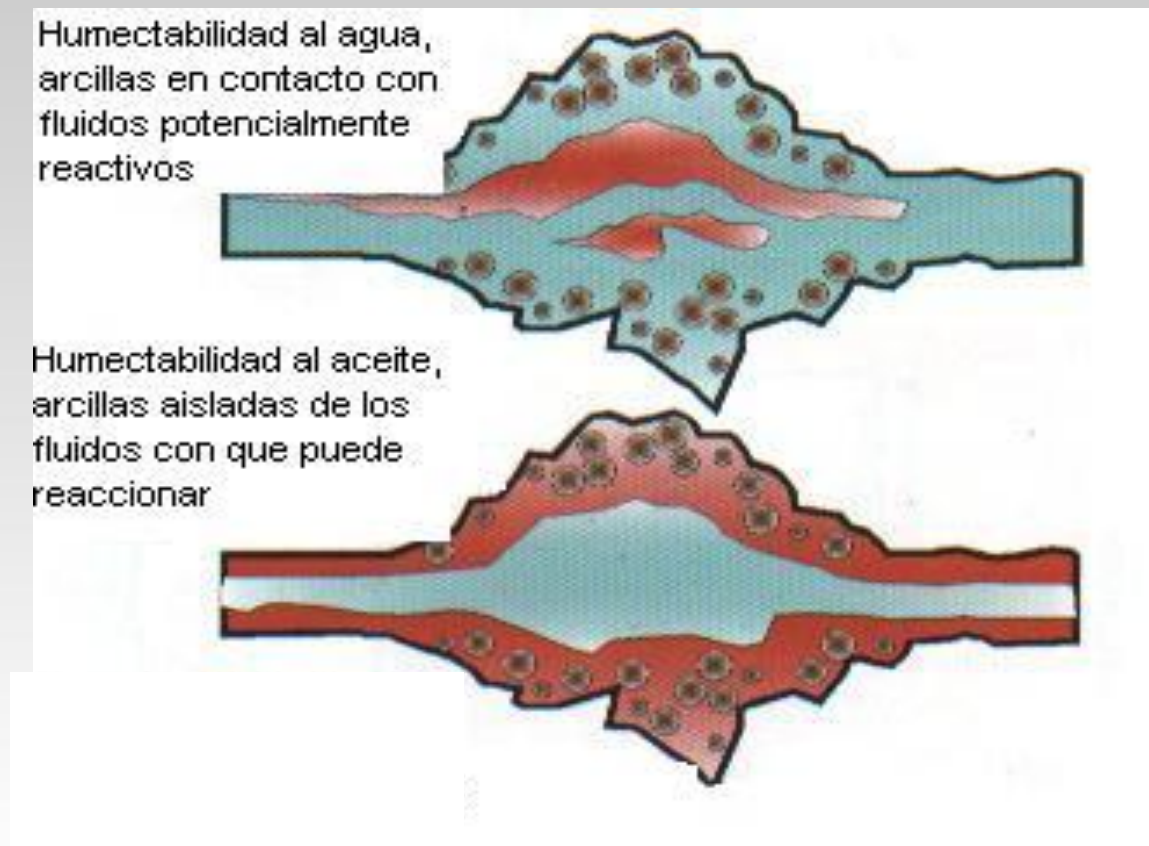


Figura 11. Efecto de la humectabilidad sobre la reactividad de las arcillas

Interacciones Fluido - Fluido

Interacciones Roca - Fluido

➤ Parafinas

➤ Sólidos

- Asfaltenos
- Precipitados
- Hidratos
- Escamas
- Diamondoids

➤ Emulsiones

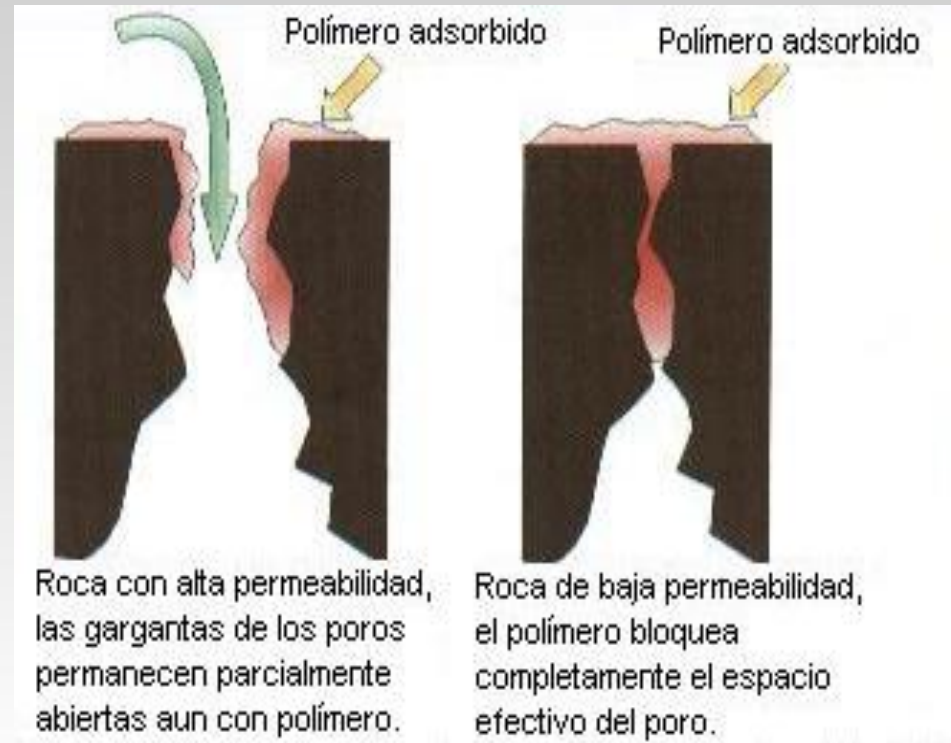


Figura 12. Efecto de la adsorción de polímeros en medios de baja K

Emulsiones

Las emulsiones pueden presentarse en el medio poroso y crear un “bloqueo por emulsión”

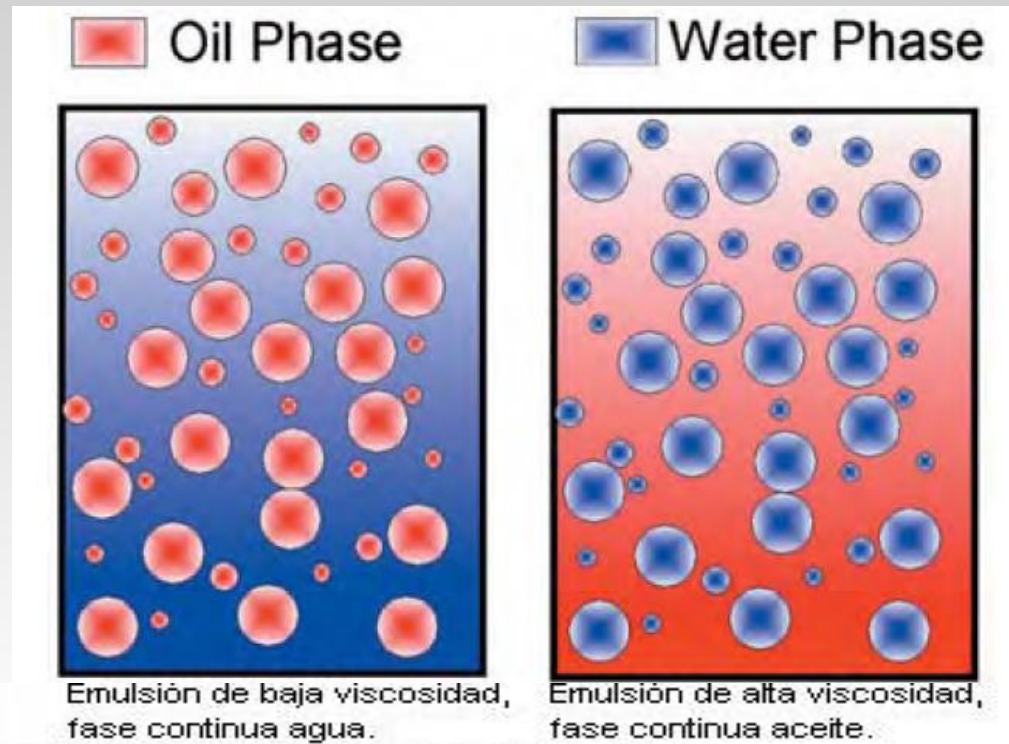


Figura 13. Tipos de emulsiones agua-aceite

➤ Mecanismos Biológicos

Este tipo de daño es causado por la penetración de bacterias y nutrientes en el medio poroso. Es normalmente asociado con operaciones de inyección de agua. Muchas bacterias crecen a temperaturas por debajo de 90°C. Los tres mecanismos de daño mayores que causan las bacterias son:

- Taponamiento
- Corrosión
- Toxicidad



➤ Mecanismos Térmicos

Los mecanismos de daño térmico están asociados con operaciones de inyección de alta temperatura. Estos incluyen:

- Disolución
- Transformaciones mineralógicas
- Alteración de la Humectabilidad.
- Reducción de la permeabilidad absoluta.
- Degradación térmica.



Disolución

Ciertas formaciones como alita, diferentes arcillas, anhidrita, entre otras, pueden sufrir procesos de disolución y formar finos que pueden migrar. Esto se resuelve utilizando fluidos base aceite.



Daño de Formación en Pozos Horizontales

El daño en este tipo de pozos puede aumentar por las siguientes razones:

- Mayor tiempo de exposición de la formación con el contacto del fluido de perforación.
- Muchos pozos horizontales son completados en hueco abierto o en liner sin cementar.
- Debido a la gran área contactada existe una mayor área lavada alrededor del pozo.
- Los efectos de tubo en U pueden ejercer suficiente contrapresión para el flujo en situaciones de donde se presenta una alta permeabilidad y una baja caída de presión.
- Operaciones de acidificación y fracturamiento son mas costosas que en pozos verticales.

Daño de Formación

Para determinar la magnitud del daño es necesario recopilar información de diferentes tipos:

- Presión y temperatura de formación.
- Humectabilidad.
- Presión Capilar.
- Saturaciones de fluidos
- Curvas de Permeabilidad Relativa.
- Composición de la Roca
- Tamaño y distribución de los poros.
- Velocidad crítica en pruebas de filtración.
- Pruebas de invasión de lodo.
- Pruebas de filtración crítica..
- Salinidad.
- Pruebas emulsión agua - agua, aceite - agua.
- Escalamiento de análisis geomecánico.
- Caracterización de fluidos del yacimiento.
- Contenido y tipo de bacterias en fluidos de inyección.
- Efectos potenciales de daño térmico a alta temperatura.

¿Cómo estudiar la magnitud del daño?

Según Civan (1996) mediante técnicas analíticas y experimentales apropiadas y el modelamiento y la simulación apropiadas podemos llegar a diagnosticar, evaluar, prevenir, remediar y controlar el daño de formación en yacimientos de petróleo y gas.

¿Qué es un modelo de daño de formación?

- Civan (1996), sugiere que es una relación dinámica que expresa la capacidad de transporte de fluido de un medio poroso bajo procesos de alteración. Existen muchos modelos, pero no existe uno que pueda ser considerado aplicable de forma general.
- Aunque el modelamiento basado en un análisis teórico bien aceptado es deseable y preciso, el modelamiento del daño de tipo microscópico a menudo necesita de intuición y conocimiento empírico logrado de estudios de tipo experimental.

Modelamiento del Daño de Formación

Modelo de Civan - Knapp - Ohen:

Modelo Físico

Modelo Matemático

Modelo Numérico

Modelo Sistematizado

➤ Modelo Físico

1. Considera:

- Hinchamiento
- Migración y Retención de Partícula.

2. Partículas:

- Generadas por Medio Poroso.
- Provenientes del Fluido.

3. Orientado:

- Caracterizar Fenómeno del daño a partir de pruebas de desplazamiento.

➤ Modelo Matemático

1. Ecuación de flujo:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial p}{\partial x} \right) = \mu_m \left[\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial}{\partial t} (\sigma_p + \sigma_p^*) + \frac{\dot{S}}{\rho_l} + \frac{\partial}{\partial t} (\phi) \right]$$

2. Rata de Adsorción liquida por matriz porosa:

$$S^* = B t^{-1/2}$$

➤ Modelo Matemático

3. Reducción de la permeabilidad debido al hinchamiento:

$$\left(\frac{k}{k_0}\right)_{Sw} = \left(\frac{k_t}{k_0}\right) + \left[1 - \left(\frac{k_t}{k_0}\right)\right] \exp^{-2ABt^{1/2}}$$

4. Deposición de partículas finas:

$$\frac{\partial \sigma_p}{\partial t} = k_1(u\rho_{p,f})(\rho_P\phi) - k_2\sigma_P \left[-\frac{\partial p}{\partial x} - \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right)_{cr} \right] U$$

➤ Modelo Matemático

5. Generación de partículas:

$$\frac{\partial \sigma_p^*}{\partial t} = -k_3 \sigma_p^* \left[1 - \exp(-k_4 t^{1/2}) \right] \exp(-k_5 \sigma_p) \left[\left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right) - \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right)_{cr}^* \right] U$$

➤ Modelo Numérico

Discretización de las Ecuaciones

➤ Modelo Sistematizado

Se cuenta con un programa que simula el modelo pero requiere de las constantes fenomenológicas.

➤ Obtención de las Constantes Fenomenológicas

Constantes Fenomenológicas Requeridas para la Ejecución del Programa:

$$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, B, 2AB, \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{cr_1}, \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_{cr_2}, \sigma_p^*$$

➤ Modelos de Regresión

Modelos de Regresión Lineal:

- Modelos Simples
- Modelos Múltiples

Impacto Económico del Daño de Formación

Recordemos que:

$$Q = c \left(\frac{kh}{\mu_o} \right) \frac{\Delta P}{\Delta L}$$

- a) Si un pozo produce 500 barriles/día y se produce un daño que reduce la K a un 40% del valor inicial cual será la pérdida anual?
- b) Una empresa de servicios ofrece recuperar la K hasta un 55% del valor original y cobra 800.000 dólares y se demora 2 semanas en dicha operación, justifica hacer tal inversión ? en cuanto tiempo se librárá esta inversión?

Impacto Económico del Daño de Formación

Respuestas:

- a) Si $K = 0,4K \rightarrow q = 0,4q \rightarrow q_{\text{Perdido}} = 0,6 * q = 300$ barriles/día \rightarrow Valor perdido anual = $300 * 365 * 30 = \mathbf{3'285.000 \text{ dólares}}$
- b) Si q pasa de 200 (40%) a 275 (55%) hay una ganancia neta de 75 barriles diarios, luego la ganancia anual será: $75 * 365 * 30 = \mathbf{821.250 \text{ dólares}}$

Si la operación dura dos semanas se dejan de percibir, la pérdida por disminución de producción será: $200 * 14 * 30 = \mathbf{84.000 \text{ dólares}}$

Luego la ganancia neta anual con el tratamiento será: $821250 - 84000 = \mathbf{737.250 \text{ dólares}}$. Ahora como la ganancia diaria es de $75 * 30 = \mathbf{2.250 \text{ dólares}}$

La inversión de la operación de remediación del daño será: $1 \text{ año} + (800.000 - 737.250) / 2.250$

1 año 28 días