

ESTABILIDAD DE PAREDES DE POZO.

Autores: Lic. Gustavo Guido BUHLER - Y.P.F. (G.I.D.)

Ing° Danilo José SANDONI - Y.P.F. (G.I.D.)

Sub.Gerencia de Explotacion.
Gerencia de Investigación y Desarrollo.
Yacimientos Petrolíferos Fiscales S.E

INTRODUCCION.

El mantenimiento de la estabilidad de las paredes del pozo es uno de los mayores problemas que se encuentra durante la perforación de determinados tramos del mismo. Como es sabido, la falta de solución del problema se traduce en incrementos en los tiempos de ejecución del pozo derivados de repasadas, aprisionamientos, pescas, etc.

En casos extremos la falta de estabilidad de las paredes de pozo puede derivar en el abandono. El correspondiente incremento de los gastos supera siempre el costo de los estudios para la selección y la aplicación de los fluidos y técnicas que permitan estabilizar las paredes.

A efectos de estudiar el tema se considera conveniente dividir lo en dos tipos de mecanismos básicos causantes de la inestabilidad. Como se verá más adelante, pueden aparecer juntos y, a veces, uno es consecuencia del otro.

1. Aspectos físico-químico, es decir la interacción entre el fluido de perforación y los constituyentes de las formaciones atravesadas.
2. Aspectos mecánicos que involucran básicamente los juegos de tensiones y presiones que se ejercen sobre la pared del pozo y zonas cercanas y la capacidad de la misma para soportarlas.

Comportamiento Físico-Químico.

En su mayor parte los problemas de inestabilidad atribuibles a causas químicas están relacionados con la incorporación o eliminación de agua en las formaciones.

La complejidad de las reacciones y equilibrios hace que el tema sea, en muchos casos, de difícil resolución. Como se verá más adelante, todavía no se ha encontrado un lodo que resuelva todos los problemas de inestabilidad de paredes de origen químico.

El que sigue es un listado simplificado de los mecanismos en juego:

- a) Disolución.
 - b) Intercambio catiónico.
 - c) Adsorción de agua

{	Directo.
{	Osmosis.
 - d) Reactividades especiales.
- a) -Disolución: Algunas rocas están compuestas por sustancias solubles en agua. El caso más común y que suele aparecer en forma masiva en algunas zonas es la halita (cloruro de sodio). En otros casos el manto salino está compuesto por más de una sustancia por ejemplo, mezclas de cloruro de sodio y de potasio (ambos claramente solubles en agua). Existen otras sustancias como el sulfato de calcio (yeso) que son menos solubles y que no aparecen habitualmente en forma masiva sino como intercalaciones.

Si no se utilizan fluidos de perforación, adecuados, que no disuelvan estas sales, el efecto solvente del lodo socava estas formaciones dejando a los estratos suprayacentes sin sostén provocando su caída o

desmoronamiento. Es decir que, cuando aparecen estratos que se solubilizan en la inyección, no son éstos los que desmoronan sino los que se encuentran inmediatamente por encima de los mismos.

En el caso de haber intercalaciones de sustancias solubilizables hay desmoronamiento del material no soluble interestratificado. Aún cuando no hubiera desmoronamiento, la formación de cavernas por disolución de ciertos terrenos es, de por sí causa potencial de problemas de aprisionamiento.

La forma de evitar la disolución de las paredes es simple: utilizar un lodo que no las solubilice.

- b) -Intercambio catiónico: Las lutitas constituyen un tipo de formación que es proclive a desmoronar. Las lutitas están compuestas básicamente por arcillas que han sufrido distintos grados de alteración. Las arcillas son sustancias que, dependiendo de su composición y estructura cristalina, tienen capacidad de intercambiar cationes. Dicho en forma simple, esto significa que si una arcilla que tiene calcio en su composición, se pone en contacto con agua o un lodo que contiene sodio se produce el intercambio. El sodio del lodo pasa a la arcilla y el calcio de la arcilla se incorpora al lodo. Como resultado de este intercambio la arcilla puede hincharse. Este hinchamiento puede resultar en un cerrado parcial del pozo, o en la generación de altas presiones. Estas presiones, transmitidas a otros estratos más duros y frágiles puede provocar el desmoronamiento de estos últimos. Nuevamente vemos que no siempre la formación que reacciona con el fluido de perforación es la que desmorona.

En otros casos la misma lutita que sufre el intercambio catiónico, es la que desarrolla presión interna entre sus planos y desmorona.

La forma de evitar este tipo de desmoronamiento es, trabajar con lodos que no produzcan intercambio o que tengan en su composición, productos que minimicen el hinchamiento.

- c) -Adsorción de agua: En conjunto con el tema intercambio catiónico o independiente de él las arcillas, según su estructura, composición, diagénesis, presión a la que está sometida, etc., son capaces de tomar agua del lodo de perforación a través de un fenómeno físico-químico llamado adsorción.

Este mecanismo que es, básicamente un fenómeno de superficie, resulta finalmente en una hidratación de la lutita. El resultado es un hinchamiento o una generación de presiones que deriva en problemas similares a los descritos en el punto anterior.

La presencia de fisuras o microfisuras en la lutita es, generalmente, un agravante para las posibilidades de desmoronamiento por intercambio o adsorción de agua. Existen en el mercado aditivos que intentan sellar estas microfisuras, impidiendo la introducción de agua en sus planos, lo que evitaría el hinchamiento. Se ha adjuntado a estos apuntes, un artículo en el que se describe un método para determinar, en laboratorio, la eficacia sellante de los productos mencionados.

Es fácil comprender la adsorción de agua por parte de una lutita que se pone en contacto con un fluido de perforación de base acuosa. No es tan simple entender que una lutita pueda hidratarse al contactar se con una emulsión inversa cuya fase externa es hidrocarburo. Sin -

embargo, en estos casos, la hidratación también puede producirse a través del fenómeno de ósmosis. Por ello es que las emulsiones inversas requieren también cuidados especiales para evitar que causen inestabilidad de paredes.

Sin entrar en mayores detalles, estos cuidados especiales consisten en igualar las actividades químicas acuosas de la emulsión y de la lutita. De esta forma nacieron las emulsiones inversas de actividad balanceada.

- d) -Reactividades especiales: Se han agrupado aquí todo otro tipo de reacciones que el terreno puede tener con el fluido de perforación, que puede llevar a algún grado de inestabilidad de paredes. Por ejemplo, un caso especial de solubilidad es el de los esquistos bituminosos, que pueden resultar inestables o causar inestabilidad, si se los perfora con fluidos base hidrocarburos.

La solución, en este caso, es perforar con un lodo que no contenga hidrocarburos libres.

En trabajos de laboratorio se encontró una rara reactividad de algunas formaciones a la solución de ciertos tensoactivos en gas-oil. El fenómeno existe, pero su mecanismo aún no se ha encontrado. Esta reactividad podría explicar ciertos problemas de inestabilidad presentados en algunos yacimientos de Salta.

COMPORTAMIENTO MECANICO DE LAS ROCAS.

El comportamiento mecánico de las rocas, se estudia a través de un ensayo en una celda triaxial donde un testigo cilíndrico, es encerrado en una cámara flexible, y una carga axial es aplicada por un pistón, pudiendo aplicarse una presión de confinamiento y una presión de poro, observándose de esta manera las deformaciones que se producen.

Las rocas pueden ser clasificadas, de acuerdo a como sea su comportamiento a la rotura en:

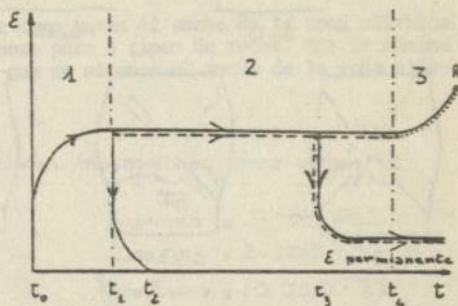
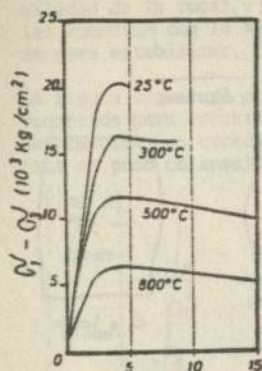
- a.- Frágiles: cuando tienen pequeñas deformaciones permanentes, y la rotura se manifiesta con brusca caída de resistencia, p/e: rocas endurecidas, duras y areniscas.
- b.- Dúctiles: si antes de la rotura se manifiestan deformaciones típicamente plásticas (irreversibles), p/e: rocas salinas y lutitas.

Podemos decir a su vez que dicho comportamiento, se ve influenciado por la temperatura (la resistencia de las rocas frágiles disminuye con el aumento de la temperatura); el tiempo y la presión de confinamiento (la fragilidad disminuye al aumentar la P de confinamiento, es decir que pasa de frágil a plástico).

Ejemplos de la anterior lo vemos en las siguientes figuras:

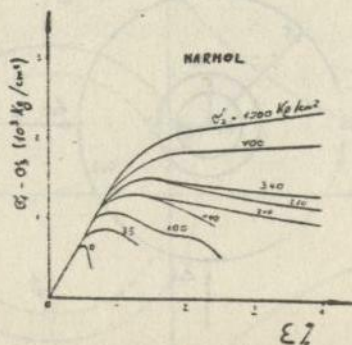
GRANITO

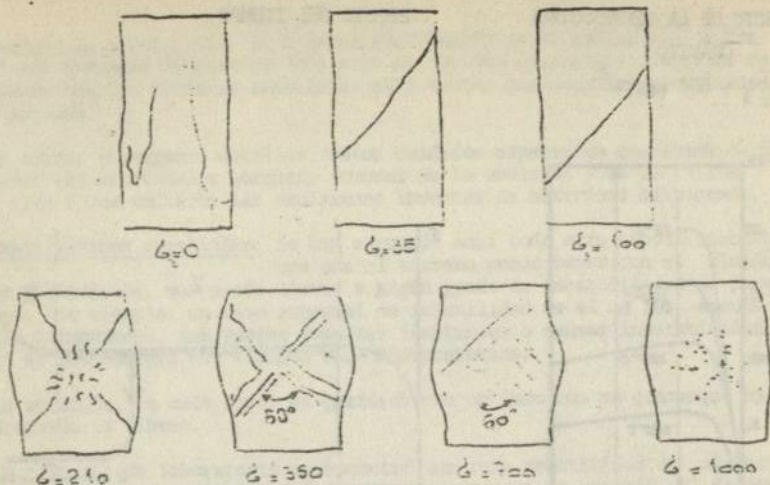
$$\sqrt{3} = 500 \text{ kg/cm}^2$$



- 1= comportamiento elástico.
- 2= comportamiento plástico.
- 3= fase que lleva a la rotura.

Efecto de la presión de confinamiento





Tensiones alrededor de las paredes del pozo.

Cuando perforamos un pozo, las tensiones horizontales son aliviadas y las paredes del pozo se deforman hasta que la tensión radial en la pared se iguala a la caída de presión a través del revoque, a cero; si no hay revoque. Si la deformación causada no excede el límite elástico la reducción en el diámetro del pozo será pequeña.

Si la deformación excede el límite elástico, la misma será plástica debido a las altas presiones de confinamiento

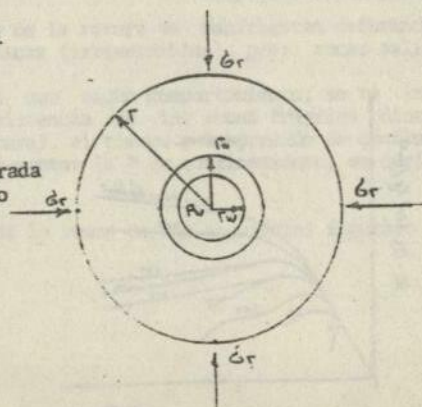
σ_r = Tensión radial.

r = Radio de la zona plástica.

r_0 = Radio inicial del pozo.

r_w = Radio final del pozo.

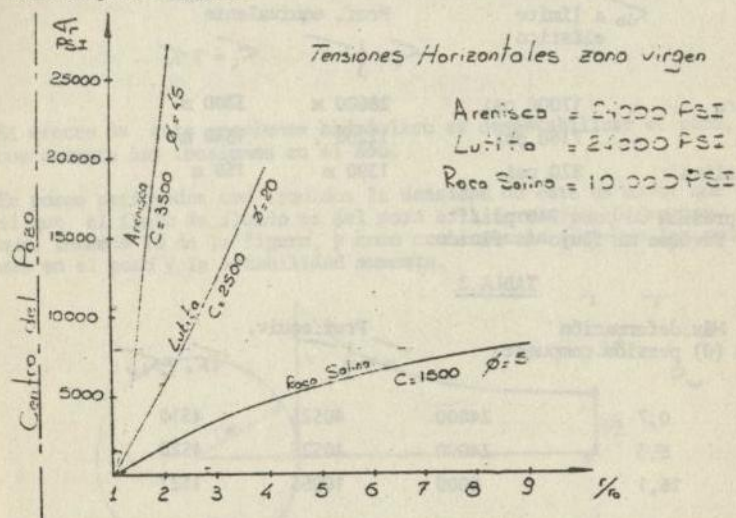
P_w = Presión generada por el fluido de perforación.



y si además se excede la máxima deformación al pozo será inestable.

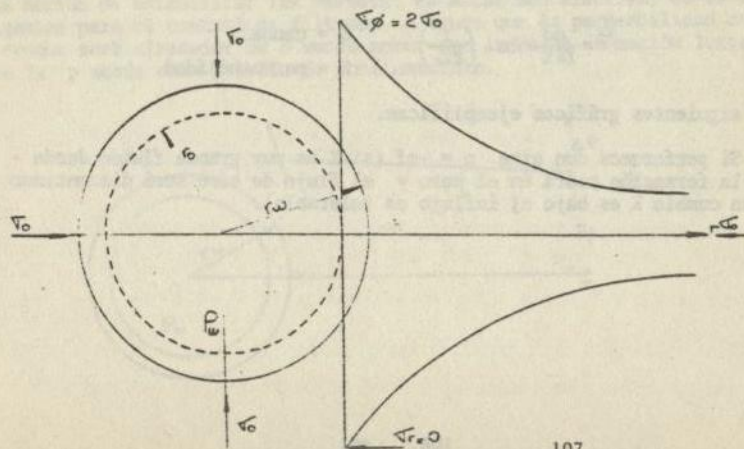
Una anillo de roca plásticamente deformada se forma alrededor del pozo; el radio del pozo decrece y el de la zona plástica se incrementa hasta que la σ_r en la pared iguala la caída de presión a través del revoque. Los radios interior y exterior de la zona plástica, dependen de la ductilidad de la roca, y de la curva intrínseca. Como las tensiones radiales aumentan con la profundidad, el ancho de la zona plástica, requerida para estabilizar, también se incrementa.

La figura siguiente nos muestra como varía el ancho de la zona plástica requerida para estabilizar el pozo para 3 tipos de rocas. (Si la máxima deformación, es excedida antes que se alcance el ancho de la zona plástica el pozo colapsa).



Supongamos que no hay inyección en el pozo, y no hay flujo de fluido desde o hacia la formación.

Tenemos:



De acuerdo a ésto la máxima diferencia entre los esfuerzos se da en la pared interior del cilindro, por lo tanto será aquí que tendremos la rotura.

Brams desarrolló un método para determinar las tensiones a las cuales el pozo fluirá y comience la deformación plástica.

La tabla 1 siguiente muestra las profundidades a la cuales fluye y la tabla 2 las tensiones a las cuales la máxima deformación será alcanzada y con ella el colapso del pozo.
(tener en cuenta que estos valores pueden distar mucho de ser reales).

TABLA 1

σ_0 a límite elástico		Prof. equivalente	
		$\sigma_h = \frac{1}{3} \sigma_v$	$\sigma_h = 3 \sigma_v$
Arenisca	17000 psi	28600 m	3200 m
Lutita	7160 psi	12200 .	1340 m
Roca salina	820 psi	1390 m	150 m

Grad. presión de pozo 946 psi/ft.
No hay revoque ni flujo de fluido.

TABLA 2

Máx.deformación Cero (0) presión compuesta		Prof.equiv.	
		$\sigma_h = \frac{1}{3} \sigma_v$	$\sigma_h = 3 \sigma_v$
0,7	24000	40525	4510
8,3	24000	40525	4520
16,1	6000	10055	1127

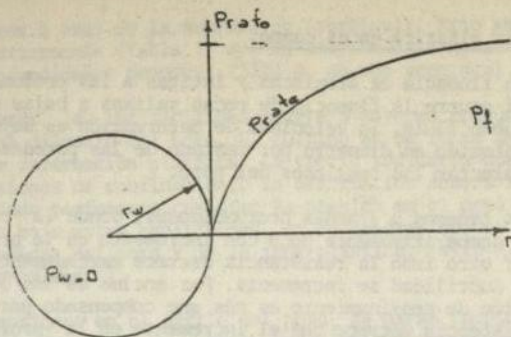
Influencia del flujo de fluido sobre la estabilidad de la pared del pozo.

En condiciones de equilibrio, la presión del pozo a cualquier radio, está dada por la ecuación del flujo radial.

$$P_r = \frac{\mu q}{2\pi K} \ln \left(\frac{r}{r_w} \right) \quad \begin{array}{l} q = \text{caudal} \\ K = \text{permeabilidad.} \end{array}$$

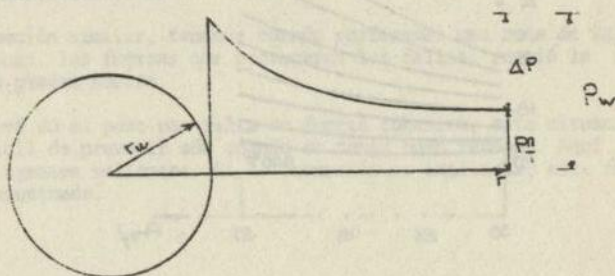
Los siguientes gráficos ejemplifican.

- 1.- Si perforamos con aire $p = -p_f$ (si K es muy grande fluido desde la formación caerá en el pozo y el flujo de aire será discontinuo si en cambio K es bajo el influjo es tolerable).

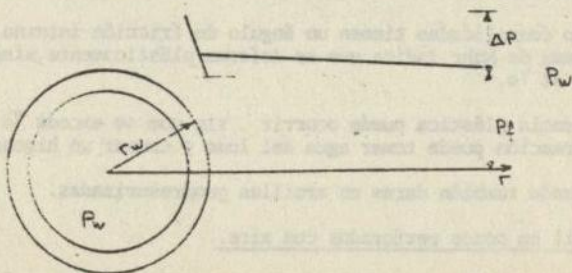


El efecto de este gradiente hidráulico es desestabilizar el pozo, ya que aumenta las tensiones en el arco.

En pozos perforados con líquidos la densidad de éste es mayor que p_f , así que el flujo de fluido es del pozo a la formación. Si no hay revoque, tenemos lo de la figura, y como consecuencia decrecen las tensiones en el pozo y la estabilidad aumenta.



La acción de estabilizar las paredes, es mucho más efectiva, si tenemos agentes para el control de filtrado. A causa que la permeabilidad del revoque será alrededor de 3 veces menor que la de la formación luego toda la p actúa como presión de confinamiento.

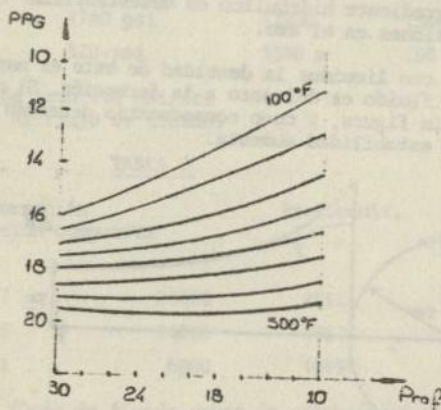


Ocurrencia de fluencia plástica en el campo:

Es difícil que ocurra fluencia de areniscas y lutitas a las profundidades normales, pero sí ocurre la fluencia de rocas salinas a bajas profundidades; si bien puede fluir, la velocidad de deformación es baja y el pozo puede ser mantenido en diámetro por rascado de las paredes, sin que esto signifique afectar las tensiones del pozo.

Mayores problemas los tenemos a grandes profundidades, donde la resistencia se incrementa comparativamente poco con incremento en la presión de confinamiento, por otro lado la resistencia decrece marcadamente con la temperatura, y la ductilidad se incrementa. Por encima de los 3000 m el efecto de la presión de confinamiento es más que compensado por la temperatura y la resistencia decrece con el incremento en la profundidad.

A causa de la alta ductilidad la sal puede transmitir casi el peso total de la sobrecarga y una densidad de más de 2,3 puede ser necesario para controlar el flujo.



Estas formaciones son atravesadas con agua saturada o con fluido base a aceite.

Plasticidad puede ocurrir también cuando se perforan sedimentos arcillosos a baja profundidad. La arcilla predominante es la montmorillonita y los sedimentos tienen alto contenido de agua. Son sedimentos blandos, parecidos a la masilla.

Las lutitas no consolidadas tienen un ángulo de fricción interno de cero y el diagrama de Mohr indica que se deforma plásticamente siempre que se exceda el σ_0 .

Además la fluencia plástica puede ocurrir sin que se exceda σ_0 , en este caso la formación puede tomar agua del lodo y causar un hinchamiento.

La fluencia puede también darse en arcillas geopresurizadas.

Fractura frágil en pozos perforados con aire.

En áreas montañosas, las tensiones horizontales pueden ser hasta 3 veces

superiores a esas de la sobrecarga (vertical). Bajo estas condiciones vimos anteriormente (tabla 1) que la ocurrencia de plasticidad debería darse a profundidades menores. (3200 m. en una arenisca).

Sin embargo, la inestabilidad ocurre a mayores profundidades y con un aumento del diámetro del pozo. El cutting es de forma angular no mostrando signo de deformación plástica. La teoría indicaría que debido a las altas presiones de confinamiento la deformación deberá ser plástica. Pero como cuando perforamos con aire la presión en el pozo es insignificante, entonces bajo estas condiciones, es de esperar que se forme una zona frágil alrededor del pozo y de la zona plástica, (esto ha sido comprobado experimentalmente).

Altas tensiones en el anillo del pozo, se darán también, cuando el pozo no es redondo, patas de perro, condiciones anisotrópicas, etc..

Cuando ocurre un astillamiento en el pozo, causa que se forme un pozo no redondo, luego incrementa la concentración de tensiones, así se forma un proceso que puede causar el colapso del pozo.

Formaciones que no tienen fuerza cohesiva.

Cuando tenemos una formación sin fuerza cohesiva la línea de inestabilidad pasa por el origen. Luego cuando se perforan con aire o fluido limpio, las arenas caen dentro del mismo. Si se perfora con un fluido con buenas propiedades de revoque la caída de presión a través de este imparte una fuerza cohesiva.

Una situación similar, tenemos cuando perforamos una zona de fallas. En estas zonas, las fuerzas que provocaron las fallas, rompió la formación quedando piedra suelta.

Esta caerá en el pozo por falta de fuerza cohesiva, esta situación, es más difícil de prevenir aún cuando se tenga buen revoque. Aquí conviene agregar agentes sellantes. Si la formación es inclinada, este fenómeno es más acentuado.