

FORMULAS USADAS FRECUENTEMENTE EN LOS CALCULOS DE CAMPO EN LOS FLUIDOS DE PERFORACION

1. PRESIÓN HIDROSTÁTICA (PSI)

$$Ph = 0.05200 * \text{Profundidad(Pies)} * \text{Peso(Lb./Gal)}$$

$$Ph = 0.00695 * \text{Profundidad(Pies)} * \text{Peso(Lb./PC)}$$

2. FACTOR DE FLOTACIÓN

$$FF = 1 - 0.002 * \text{Peso (Lb./PC)}$$

$$FF = 1 - 0.015 * \text{Peso (Lb./Gal.)}$$

3. CONVERSIÓN DE PESO

$$\text{Peso(Lb/PC)} * 0.134 = \text{Peso(Lb./Gal.)}$$

$$\text{Peso(Lb/Gal)} * 0.748 = \text{Peso(Lb./ PC)}$$

4. INCREMENTO DE PESO

$$X = 1490 * (W_2 - W_1) / (35.4 - W_2)$$

Donde: X= Sacos de baritina/100 bbls. De lodo

W₁= Peso inicial en Lb./Gal.

W₂= Peso final en Lb./Gal.

5. PESO REQUERIDO PARA CONTENER EL POZO

$$W = W_1 + PCT / (0.052 * \text{prof.}) \quad (\text{Lb./Gal.})$$

Donde: W₁= Peso del lodo (Lb./Gal.)

PCT = Presión de cierre registrada en la tubería de perforación (psi)

Prof.= Profundidad (Pies)

6. PRESION DE CIRCULACIÓN A CUALQUIER PROFUNDIDAD

$$BHCP = Ph + \text{Pérdida de presión en el anular} \quad (\text{psi})$$

7. PERDIDA DE PRESION EN EL ANULAR

$$P = (H*PC)/(225*(D_1 - D_2) + (VP*H*V_a)/[1500*(D_1 - D_2)^2] \quad (\text{psi})$$

Donde: H= Profundidad (pies)

PC= Punto Cedente (Lbs./100 pies²)

VP= Viscosidad Plástica (cps)

V_a= Velocidad Anular (pie/seg)

D₁ - D₂= Diámetro Anular (pulg.)

Comentado [G1]: Cps: La nomenclatura "cps" significa centi poise y es la resistencia de cualquier fluido al movimiento.

8. CALCULO DE CAPACIDAD DE TANQUES

• Tanque Rectangular

$$V = (L*A*H)/5.6 \quad (\text{Bbls.})$$

Donde: A= Largo (pies)

L= Ancho (pies)

H= Altura (pies)

■ Tanque Cilíndrico

$$V = 0.1396*D^2*H \quad (\text{Bbls.})$$

Donde: D= Diámetro (pie)

H= Altura (pie)

9. VELOCIDAD CRITICA

$$V_C = \{ 1.078*VP + 1.078*[(VP)^2 + 9.256*(D_1 - D_2)^2 * PC * W]^{1/2} \} / [W*(D_1 - D_2)] \quad (\text{pie/seg})$$

Donde: VP= Viscosidad Plástica (cps)

PC= Punto Cedente (Lbs./100 pie²)

W= Peso del Lodo (Lbs./Gal.)

D₁-D₂= Diámetro Anular (pulg.)

10. CAUDAL

$Q_{(\text{mínimo estimado})} = 30 \cdot \text{Diámetro del Hoyo}$

$Q_{(\text{crítico})} = \{V_c \cdot [(D_h)^2 - (D_t)^2]\} / 24.5$

$Q_{(\text{máximo})}$ Obtenido con las máximas emboladas a las cuales opera la bomba

11. CAPACIDAD ANULAR

$C = [(D_h)^2 - (D_t)^2] / 1029$

Donde: D_h = Diámetro del hoyo en pulgadas

D_t = Diámetro de la tubería en pulgadas

12. TIEMPO DE RETORNO O FONDO ARRIBA (en minutos)

$T = \text{Volumen Anular (Bbbs.)} / \text{Tasa de Bombeo (Bbbs./Min.)}$

$T = \text{Profundidad (Pies)} / \text{Velocidad Anular (Pies/Min.)}$

13. PESO DEL AGUA

1 Barril (42 galones) de agua 350.00 Lbs.

1 Pié cúbico de agua 62.40 Lbs.

1 Galón de agua 8.33 Lbs.

14. GRAVEDAD ESPECIFICA

Sp. Gr. (Agua) = 1.0

$(\text{Lbs./Gal.}) / 8.33 = \text{Sp. Gr.}$

$(\text{Lbs./PC}) / 62.40 = \text{Sp. Gr.}$

15. GRADIENTE DE PRESION

$$\text{Psi/Pie} = 0.05200 * \text{Peso (Lbs./Gal.)}$$

$$\text{Psi/Pie} = 0.05200 * \text{Peso (Lbs./PC)}$$

16. GRADIENTE NORMAL DE PRESION

$$0.465 \text{ psi /pie}$$

17. GRADIENTE DEL AGUA

$$0.433 \text{ psi /pie}$$

18. GRADIENTE NORMAL DE TEMPERATURA

$$1 \text{ °F / 100 pies}$$

19. INDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO

$$n = \log (L_2/L_1) / \log (R_2/R_1)$$

Donde: L_1 = Lectura tomada a R_1

L_2 = Lectura tomada a R_2

Nota: $n = 3.32 \log (L_2/L_1)$ cuando $R_2/R_1 = 2$

$n = 0.66 \log (L_2/L_1)$ cuando L_1 es tomada a 3R y L_2 a 100R

20. INDICE DE CONSISTENCIA

$$K = \text{Lect} / (1.7 * \text{RPM})^n \quad (\text{lbs.} * \text{seg}^n) / 100 \text{pie}^2$$

$$K = 5.11 \text{Lect} / (1.7 * \text{RPM})^n \quad (\text{dina} * \text{seg}^n) / \text{cm}^2$$

CONCEPTOS Y CALCULOS BÁSICOS

1. **CAPACIDAD:** Es el volumen de lodo por unidad de longitud (bbls./pie).
 - **Tubería:** Depende del diámetro interno (ID).
 - **Espacio Anular:** Depende del diámetro externo de la tubería (OD) y del pozo. generalmente, se toma como diámetro del pozo el diámetro de la barrena.
 - **Tanques:** Depende de la altura, del ancho y la profundidad.
 - **Desplazamiento de la tubería:** Es el volumen de lodo, por unidad de longitud, que se desplaza cuando la tubería es introducida en el hoyo. Depende del espesor de la tubería. Este volumen debe ser tomado en consideración cuando se está sacando tubería.

2. **VOLUMEN:** Es la capacidad por la altura (bbls.).
 - **Sarta de Perforación:** Incluye el volumen que se encuentra en el interior de la tubería y de los portamechas.
 - **Anular:** Barriles de lodo entre la sarta de perforación y el pozo revestido o desnudo.
 - **Capacidad, Desplazamiento o Rendimiento de la Bomba:** Es el volumen de lodo descargado por la bomba en cada una de las emboladas. Depende principalmente de:
 - ✓ El diámetro del cilindro.
 - ✓ La longitud del pistón.
 - ✓ La eficiencia volumétrica de la bomba.
 - **Caudal o Tasa de Bombeo (Bbls./Min.):** Es el volumen de lodo descargado por la bomba por una unidad de tiempo durante la circulación del pozo.
Caudal=Desplazamiento*Velocidad
 - **Tiempo de Bombeo:** Es el tiempo que requiere la bomba para descargar un determinado volumen de lodo.
Tiempo=Volumen/Caudal
 - **Emboladas Totales Requeridas Para Bombear Un Determinado Volumen De Lodo:**
Emboladas=Volumen/Desplazamiento de la Bomba
Emboladas=(Emb/Min)*Min (Veloc.Bomba*Tiempo de bombeo)

- **Gradiente de Presión (Psi/Pie):** El gradiente de lodo expresa la densidad del lodo explícitamente con un gradiente de presión.

El gradiente del agua es: 0.433 psi/pie

REGLAS NEMOTECNICAS

1. Desplazamiento de Tubería (Bbl/Pie):

- A. $0.0003638 * (\text{lbs./pie})$
- B. $[(\text{OD})^2 - (\text{ID})^2] / 1029$

Nota: Considere el peso ajustado de la tubería. Para ello, multiplique por **1.03** el peso unitario de la tubería cuando se trate de los grados **D** y **E**, y por **1.06** cuando los grados sean **X**, **G** y **S**.

2. Capacidad del Hoyo (Bbl/Pie):

$$(D^2 * h) / 1029$$

3. Capacidad Anular (Bbl/Pie):

$$[(D_h)^2 - (D_o)^2] / 1029$$

4. Capacidad de la Tubería (Bbl/Pie):

$$(\text{ID})^2 / 1029$$

5. Viscosidad Embudo (sec/qto.gal):

Cuatro veces el peso del lodo (lb/gal)
La mitad del peso del lodo (lb/pc)

6. Porcentaje de Sólidos en Lodos Pesados (15-16 Lb/Gal):

Dos (2) por el peso del lodo (Lbs./Gal).

7. Incremento del Volumen:

- Quince (15) sacos de baritina incrementan el volumen en un (1) barril.
- Con un (1) saco de bentonita de alto rendimiento (100 bbls./ton.) se preparan 5 barriles de lodo.
- Con un (1) saco de atapulguita se preparan cuatro (4) barriles (lodo salino).
- Cuatro (4) sacos de cemento incrementan el volumen en 1 bbl..

8. Incremento de Viscosidad:

Diez (10) sacos de bentonita de alto rendimiento (100 bbls./ton.) incrementan incrementan la viscosidad del embudo en ± 8 seg/qto.gal.

9. Peso Estimado del Aceite:

Cuando no se conoce la gravedad API del aceite, se asume un peso den 7.0 lbs./gal..

10. Sacos de Bicarbonato de Sodio para Tratar Contaminaciones de Cemento:

Un (1) saco / barril de cemento

11. Ajustes de Salinidad:

- Una Lb./Bbl. De KCl ó NaCl incrementará el contenido de Cl en 2850 ppm.
- El 1 % de KCl ó NaCl, equivale a 3.5 Lb./Bbl (6500 ppm Cl) e incrementará el contenido de sal en ± 10.000 ppm.

12. Capacidad de Suspensión en Pozos con Angulo de Inclinación mayor a 30° (Desviados y/o horizontales:

La lectura a 3 y/o a 6 RPM debe ser aproximadamente igual al diámetro del hoyo.

13. Conversión de Medidas:

1 Hectárea = 0.01 Kilómetro Cuadrado
1 Hectárea = 2.471 Acres

1Kilómetro = 0.6214 Millas

1 Kilogramo = 2.2046 Libras

1 Kilovatio = 1.341 Caballos de Fuerza (HP)
1 Kilovatio = 1000 Vatios
1 Kilovatio = 3411 B.T.U.

1 Libra = 0.454 Kilos

1 Libra por Pulgada²= 0.0703 Kilogramo por Cm²

1 Libra por Pie³ = 16.02 Kilogramo por Mts³

1 Litro = 1000 Cm³
1 Litro = 61.0260 Pulgada³
1 Litro = 0.2641 Galones

1 Litro = 0.0353 Pie³
1 Litro = 0.0062 Barriles

1 Metro = 3.281 Pies

1 Mts² = 10.76 Pie²

1 Mts³ = 35.315 Pie³
1 Mts³ = 1000 Litros

1 Acre = 0.405 Hectáreas

1 Atmósfera = 14.7 Libras por Pulgada² (psi)

1 Barril = 9702 Pulgada³
1 Barril = 159 Litros
1 Barril = 42 Galones
1 Barril = 5.61 Pie³
1 Barril = 0.159 Mts³

1 B.T.U. = 0.252 Calorías
1 B.T.U. = 0.15899 Mts³

1 Cm³ = 0.001 Litro
1 Cm³ = 1.0 Mililitro

1 Decímetro³ = 1.0 Litro

1 Galón (US) = 231.000 Pulgada³
1 Galón (US) = 3.785 Litros
1 Galón (US) = 0.134 Pie³
1 Galón (US) = 0.0238 Barriles
1 Galón (US) = 0.0037 Mts³

Apuntes para el curso de Fundamentos de Geología
Gabriela Solís Pichardo

ROCAS SEDIMENTARIAS

Compuestas por Diversos materiales geológicos

PROCESOS:

- Intemperismo: Descomposición superficial de las rocas
- Erosión: Disgregación de las rocas formando partículas
Movimiento de partículas
- Transporte: Deslizamiento, acarreo por viento
- Depósito: Cambios de velocidad del agente de transporte, tamaño del sedimento
- Acumulación: Formación de capas o estratos
- Litificación: Proceso por los cuales un sedimento depositado se convierte lentamente en una roca sedimentaria sólida
- Diagénesis: Cambios físicos, químicos y biológicos que afectan al sedimento después de su depósito, durante y después de la litificación
 - ✓ Compactación
 - ✓ Cementación
 - ✓ Recristalización
- Disolución y precipitación: Cambios físico-químicos

TIPOS DE SEDIMENTOS:

Sedimentos son los productos del intemperismo depositados por los agentes de erosión:

- ✓ Fragmento de roca
- ✓ Cuarzo insoluble
- ✓ Feldespato
- ✓ Minerales arcillosos
- ✓ Minerales precipitados a partir de materiales en solución acuosa

■ Clástico (detrítico)	No Clástico
Rocas	Químico
Minerales	Bioquímico
Organismos	Evaporítico

TIPOS DE SEDIMENTOS CLASTICOS

Su composición depende de:

- ✓ Composición
- ✓ Tamaño
- ✓ Clasificación de granos
- ✓ Forma: redondez, esfericidad

Tabla 1. Definición de partículas clásticas y sus rocas sedimentarias

Nombre de la partícula	Tamaño (mm)	Nombre del sedimento	Nombre de la roca
Bloque	> a 256	Grava	Conglomerado
Guijón	64 a 256	Grava	Conglomerado
Guijarro	2 a 64	Grava	Conglomerado
Arena	1/16 a 2	Arena	Arenisca
Limo	1/256 a 1/16	Limo	Limolita
Arcilla	< a 1/256	Arcilla	Lutita

TIPOS DE SEDIMENTOS NO CLASTICOS

1. Sedimento Químico.- No contiene clastos, pero el material ha sido transportado. Los componentes fueron:
 - ✓ Disueltos
 - ✓ Transportados en solución
 - ✓ Precipitados químicamente

Se forma de dos maneras:

 - ✓ A través de **reacciones bioquímicas** como resultado de la actividad de plantas y animales en el agua
 - ✓ A través de **reacciones biorgánicas** en el agua

2. Sedimento Biogénico.- Formado por restos de plantas y animales que al morir se incorporan y preservan al acumularse el sedimento, y **sí puede contener clastos**. Existen dos tipos principales:
 - a. Sedimento biogénico calcáreo y silíceo.
 - ✓ Corales, algas y organismos coloniales
 - ✓ Radiolarios y diatomeas

 - b. Sedimento orgánico.
 - ✓ Formación de sustancias debido a la descomposición parcial de materia orgánica: hidrocarburos

ESTRUCTURAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS

- **Estratificación**
 - ✓ Paralela
 - ✓ Cruzada

- **Arreglo de partículas en las capas**
 - ✓ Capas uniformes
 - ✓ Capas no clasificadas
 - ✓ Capas gradadas

- **Características superficiales**
 - ✓ Marcas de oleaje
 - ✓ Grietas de desecación
 - ✓ Concreciones
 - ✓ Fósiles
 - ✓ Color

TIPOS DE ROCAS SEDIMENTARIAS

■ Rocas Sedimentarias de Origen Detrítico

Textura: Clástica

Composición: Fragmentos de roca

Cuarzo

Feldespatos

Arcillas

Tamaño de partícula: Conglomerados: grava (bloque, guija, guijarro)

Brechas

Areniscas: arena

✓ Areniscas de cuarzo

✓ Arcosas

✓ Grauvacas

Limolitas: Limos

Lutitas: Arcilla

Tabla 1. Definición de partículas clásticas y sus rocas sedimentarias

Nombre de la partícula	Tamaño (mm)	Nombre del sedimento	Nombre de la roca
Bloque	> a 256	Grava	Conglomerado
Guijón	64 a 256	Grava	Conglomerado
Guijarro	2 a 64	Grava	Conglomerado
Arena	1/16 a 2	Arena	Arenisca
Limo	1/256 a 1/16	Limo	Limolita
Arcilla	< a 1/256	Arcilla	Lutita

■ Rocas Sedimentarias de Origen Químico

Resultan de la litificación de precipitados químicos inorgánicos y orgánicos. Reflejan condiciones químicas del medio ambiente de depósito

Iones: Ca^+ , Na^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}

Textura: Generalmente no clástica, pero también clástica

Tabla 2. Clasificación de rocas sedimentarias químicas.

SEDIMENTO	TEXTURA	COMPOSICION	MINERAL	NOMBRE DE LA ROCA
Químico	No clástica	CaCO_3 carbonato de calcio	Calcita (aragonita)	Caliza
	No clástica	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ carbonato de Ca y Mg	Dolomita	Dolomía
	No clástica	SiO_2 sílice	Opalo, calcedonia, cuarzo	Chert
	No clástica	CaCl cloruro de sodio	Halita	Sal de Roca
	No clástica	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sulfato de calcio	Yeso	Yeso Anhidrita
	No clástica	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ fosfato de calcio	Apatito	Fosforita
	No clástica	Fe_2O_3 óxido de hierro	Hematita	Fm. Fierro
Biogénico	Bioclástica y no clástica	CaCO_3 carbonato de calcio	Calcita (aragonita)	Caliza
	Bioclástica y no clástica	SiO_2 sílice	Opalo, calcedonia, cuarzo	Chert
	No clástica	Restos de plantas	n/a	Carbón

Calizas:

- ✓ Inorgánicas o bioquímicas, ambientes marinos someros, plataformas, arrecifes, bancos y lagunas costeras
- ✓ Bioclásticas: coquina, creta
- ✓ No clásticas: travertino, estalactitas y estalagmitas, oolitas

Dolomías:

- ✓ Inorgánicas, producto de la diagénesis de calizas y sedimentos carbonatados y la adición de Mg. Bahías someras

Chert:

- ✓ Inorgánico o bioquímico, cuarzo criptocristalino, fondos marinos profundos
 - Pedernal Negro
 - Jaspe

Evaporitas:

- ✓ Inorgánicas, ambientes marinos y cuencas desérticas
 - Sal de roca
 - Yeso, Anhidrita

Depósitos Minerales en Rocas Sedimentarias:

- ✓ Depósito de hierro: silicatos y carbonatos marinos
- ✓ Depósito de fósforo: márgenes continentales
- ✓ Depósito Evaporíticos
- ✓ Depósito de carbón, gas natural y petróleo

Facies Sedimentarias y Ambientales de Depósito:

Condiciones de depósito ambientes

Cambios laterales de depósito

Sedimentos distintivos y sus organismos asociados

Facies sedimentaria

Conjunto de características de un cuerpo sedimentario:

- Tamaño de grano
- Forma de los granos
- Tipo de estratificación
- Color
- Estructuras
- Fósiles

Ambientes de Depósito:

Es el lugar de acumulación de los sedimentos

- a. Continental:
 - ✓ Fluvial
 - ✓ Lacustre
 - ✓ Glacial
 - ✓ Eólico
 - ✓ Pantanos

- b. Transicional
 - ✓ Cercano a costa:
 - Estuariano
 - Deltáico
 - Playa
 - ✓ Alejado de costa
 - ✓ Plataforma carbonatada y arrecifes
 - ✓ Cuencas marinas evaporíticas
- c. Marino
 - ✓ Talud continental
 - Turbiditas
 - Abanicos marinos
 - ✓ Fondo marino
 - Sedimentos terrígenos
 - Oozes marinos: sedimentos pelágicos, ooze calcáreo y silíceo
 - Sedimento volcánico

AMBIENTES SEDIMENTARIOS CLASTICOS

Medio Ambiente	Agente de Transporte y Depósito	Sedimentos
Continental		
Aluvial	Ríos	Arena, grava, lodo
Desértico	Viento	Arena, polvo
Lacustre	Corrientes de lago	Arena, lodo
Glacial	Hielo	Arena, grava
Costero		
Delta	Ríos, corrientes marinas	Arena, lodo
Playa	Oleajes, mareas	Arena, grava
Planicies de inundación	Corrientes	Arena, lodo
Marino		
Plataforma continental	Oleajes, mareas	Arena, lodo
Margen continental	Corrientes marinas	Lodo, arena
Fondo marino	Corrientes marinas	Lodo

Comentado [G3]: Hay variedad de opinión, cuando se habla de sedimento debe tenerse cuidado de la asociación que se haga con el ambiente sedimentario

AMBIENTES SEDIMENTARIOS QUIMICOS Y BIOQUIMICOS

Medio Ambiente	Agente de Precipitación	Sedimentos
Continental		
Evaporítico	Evaporación del agua lacustre	Sedimentos
Pantanosos	Vegetación	Turba
Costero y Marino		
Carbonatado		
Evaporítico		
Silíceo: marino profundo		

INFORMACION GENERAL SOBRE PRESION DE FORMACION

PRESION DE FORMACION NORMAL:

Una formación enterrada puede ser considerada como la coexistencia de dos medios: uno sólido, formado por los granos de la roca y otro fluido, que rellena los poros que quedan entre los granos.

En una formación normalmente constituida (normalmente presionada), la estructura de la roca es tal, que los granos soportan totalmente el peso de las formaciones suprayacentes, y el fluido a su vez, soporta solamente el peso de la columna hidrostática desde la superficie hasta ese punto, dependiendo su presión solo de su profundidad y densidad. En estas condiciones, la presión que soportan los granos irá aumentando gradualmente con la profundidad (presión de granos) y de igual modo, el fluido irá aumentando gradualmente su presión con el aumento de la profundidad (considere un medio exclusivamente líquido como el mar).

La suma de ambas presiones es la presión de sobrecarga (Overburden); de un modo resumido se puede definir como la presión ejercida por una unidad rocosa, considerando a ésta como un conjunto de granos y poros rellenos de fluido.

De este modo: $S = PP + PG$, donde: S= Gradiente de Sobrecarga
PP=Presión de poro
PG=Presión de grano

La presión del fluido de formación (en condiciones normales) se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$PP(\text{psi}) = 0.052 * \text{Densidad}(\text{lpg}) * \text{Profundidad}(\text{pies})$$

Dependiendo de la mayor o menor salinidad del agua de formación y de la densidad, se pueden establecer como valores normales de presión de poro (expresado en gradiente):

0.465 psi/ft ó 9 ppg (Golfo de México)
0.433 psi/ft ó 8.33 ppg (Agua dulce)
0.452 psi/ft ó 8.70 ppg (Mar del Norte)

Cuando nos encontramos con valores de presión mayores a los indicados, podemos considerar que nos encontramos ante una zona de sobrepresiones; para estos casos, se establece a nivel mundial como valor de gradiente de sobrecarga **1 psi/ft ó 19.2 ppg**

TEORIA DE PRESIONES ANORMALES:

Si por cualquiera de las razones que se describirán a continuación, la estructura de la roca se viera modificada, puede suceder que los granos no soporten la presión que le corresponde por el peso de las capas superiores, entonces la presión es compartida con el fluido. De esta manera el fluido tendrá la presión propia debido a la profundidad y densidad, además de la presión adicional transmitida por el material sólido. En este caso, cuando la presión del fluido es mayor que la del gradiente hidrostático

normal de la zona, se dice que el fluido está sobrepresionado o nos encontramos en una zona de sobrepresiones.

CAUSAS GENERADORAS DE SOBREPRESIONES:

- 1. Sedimentos Infracompactados.-** Es la causa más frecuente debido a una intensa sedimentación, la subsidencia es rápida, la compactación de los sedimentos no puede realizarse normalmente y una parte de la carga litostática descansa sobre los fluidos. Es muy típica de los sedimentos costeros terciarios. Evidentemente esta sobrepresión subsistirá en la medida que las aguas intersticiales no puedan escapar al estar cubiertas por capas impermeables.
- 2. Depósitos de sal.-** En el curso de una sedimentación normal, el depósito de una capa importante de sal, por su impermeabilidad, también va a impedir la emigración de aguas intersticiales, generando bajo ellas una zona de infracompactación. Estos dos fenómenos son generadores cuando actúan sobre sedimentos pelíticos de lutitas infracompactadas, cuyo reconocimiento y detección mediante el exponente “D” permiten la prevención en las capas subyacentes.
- 3. Actividad tectónica.-** Unos sedimentos normalmente compactados pueden resultar por la acción de elementos tectónicos elevados a la superficie. La presión de sus fluidos, aunque es normal a la profundidad donde se encontraba antes la roca, ahora es excesivamente alta, debido a su nueva profundidad, y esto da origen a una zona de sobrepresiones.
- 4. Almacén de hidrocarburos.-** Una estructura que contenga hidrocarburos atrapados, aunque tenga una presión hidrostática normal, solo por el hecho de contener hidrocarburos tiene una densidad menor que la del agua, y esto genera una zona de sobrepresiones.
- 5. Diagénesis.-** La evolución de ciertos sedimentos después de la sedimentación pueden generar sobrepresiones. Por ejemplo: la transformación de montmorillonite en illite es un proceso liberador de agua. De igual manera lo es la conversión de anhídrita en yeso, que produce un aumento en el volumen hasta de un 40%. En estos procesos el aumento de la cantidad de fluido contenido en la roca sin posibilidad de escapar, genera sobrepresiones.
- 6. Otros procesos.-** Algunos otros procesos menos frecuentes también pueden generar sobrepresiones. Estos pueden ser: la expansión térmica en zonas de gradiente térmico elevado, la rotura térmica de eslabones.

METODO DE DETECCIÓN:

La presencia de formaciones geológicas sobrepresionadas es bien conocida, ya que cerca de un 40% del total de los pozos perforados en el mundo, se hace sobre este tipo de formaciones.

Su detección y prevención puede ahorrar una gran cantidad de dinero en pérdidas de materiales, evitar la contaminación ambiental y sobre todo impedir la pérdida de vidas humanas.

Previamente a la perforación del pozo, se pueden obtener datos de sobrepresiones estudiando los registros sísmicos, y por pozos cercanos ya perforados (correlación).

Después de perforar el pozo, mediante los registros de resistividades y densidades, o con las presiones obtenidas en el “DST”, se puede hacer una evaluación precisa de las presiones de formación.

Los parámetros que aquí nos ocupan son los que nos permiten detectar las sobrepresiones durante la perforación. Entre ellos podemos distinguir:

- ✓ Incremento en las proporciones de gas
- ✓ Variación normal del gradiente de temperatura
- ✓ Variación en la concentración de cloruros
- ✓ Cambio de la forma y tamaño de los ripios
- ✓ Variación anormal en la evolución de la densidad de lutitas

Todos estos parámetros necesitan el retorno del lodo a superficie y en pozos muy profundos es demasiado el tiempo que se requiere.

Los parámetros que conocemos en el justo momento de la perforación son los de la sarta, en especial la “tasa de penetración”, con ellos es que se elabora el “Exponente D”, principal método de detección en tiempo real.

EXPONENTE “D”:

El exponente “D” puede ser considerado como un cálculo de la tasa de penetración, corregida por los parámetros que la afectan tales como: peso sobre la mecha, revoluciones por minutos, densidad del lodo, etc., es por tanto una medida de la perforabilidad de la formación.

La fórmula utilizada por Geoservices se deriva de la original de “Jordan & Shirley” corregida por la densidad del lodo por “REM & Mc Clendon”, y modificada a su vez por Geoservices para aislar la influencia del desgaste de la mecha.

Su fórmula es la siguiente:

$$DXC = \left\{ \text{Log}[(A^P * ROP) / (60 * RPM)] / \text{Log}[(12 * WOB) / (10^6 * BS)] \right\} * (H / ECD)$$

Donde:

- A^P= Coeficiente de desgaste de la mecha
- ROP= Tasa de Penetración
- RPM= Rotación por Minuto
- WOB= Peso sobre la Mecha
- BS= Diámetro de la Mecha
- H= Gradiente Hidrostático
- ECD= Densidad equivalente de lutita

Son diversos los factores que afectan la perforabilidad de la roca, tales como su litología, grado de fracturación, etc., pero estadísticamente es su compactación la que va a dar las variaciones importantes en cuanto a la perforabilidad.

Si establece una pendiente de perforabilidad esperada o de compactación normal para una serie sedimentaria (**DCN**), mientras la compactación vaya aumentando con la profundidad en forma normal, el “exponente D” calculado (DXC) será parecido al previsto. En el momento en que la perforabilidad sea mayor, el “DXC” será menor y en la curva registraremos una inflexión a la izquierda que nos

indicará la presencia de formaciones subcompactadas, y por tanto con una presión de formación superior a la normal.

CALCULO PRACTICO DEL “EXPONENTE D”:

Para el cálculo de la presión de formación a partir del “exponente D” un margen de arenas (Sand-Line en ingles), situado en el extremo izquierdo de la pendiente. Los valores a la izquierda del citado margen se consideran provenientes de capas de arenas, y por lo tanto no se utilizan para el cálculo, porque debido a su mayor perforabilidad darían valores de presión de formación erróneamente altos.

La presión de la formación se calculará solamente por valores de “exponente D” comprendidos entre el margen izquierdo y la pendiente normal establecida. Esta pendiente se establece teniendo en cuenta los datos de pozos próximos, o después de perforada una secuencia representativa de lutitas. Cada cierto intervalo debe verificarse y corregirse si fuese necesario.

DENSIDAD DE LUTITAS:

La densidad normal de una arcilla es función de su porosidad y consecuentemente de su grado de compactación. Midiendo en el transcurso de la perforación la densidad de los ripios encontrados y estableciendo un gráfico de las densidades medidas en función de la profundidad, es posible determinar la pendiente normal de compactación.

In indicio negativo en relación a la pendiente normal de las densidades, indicará una presión anormal en dichas arcillas, y por consecuencia un aumento en la presión de formación.

TEMPERATURA DE SALIDA DEL LODO:

El agua y en general los fluidos que contiene la roca en sus poros, son menos conductores térmicos que el material sólido, por lo tanto en una zona muy porosa la conductividad térmica será baja con respecto a la normal.

Este es el caso de las lutitas subcompactadas, que al tener espesores importantes pueden influir de manera notable sobre el gradiente térmico.

Aunque la temperatura del fondo no es la del lodo a su salida, una variación importante de aquella influye sobre ésta.

EVOLUCION DEL CONTENIDO EN CLORUROS:

Medida por la resistividad del lodo, su evolución permite descifrar incrementos de contaminación del lodo por fluidos contenidos en las rocas perforadas, es decir, un incremento de la porosidad.

Todos estos parámetros: densidad de lutitas, exponente “D”, temperatura y resistividad del lodo a su entrada y salida son controlados en forma continua desde la unidad de mudlogging.

CALCULO DE LA PRESION DE FORMACIÓN:

En las formaciones subcompactadas, se calculará la presión de formación según la fórmula desarrollada por "Eaton":

$$PF = S - (S-H) * (DCS/DCN)$$

Donde: PF= Presión de Formación
S= Gradiente de Sobrecarga
H= Gradiente Hidrostático
DCS= Exponente "D" Calculado
DCN= Exponente "D" Previsto

Gradiente de Sobrecarga: El "Overburden" representa el peso de los sedimentos, y puede ser obtenido integrando las densidades de las lutitas (Bulk Density). Hay programas disponibles para el cálculo del gradiente de Overburden, en función de la profundidad.

La densidad debe ser obtenida a partir de un registro eléctrico "FDC" ó un sónico. Para propósitos de computación, es necesario trazar una curva, cruzando los puntos obtenidos después de la integración. Su fórmula es la siguiente:

$$S = A * (\ln \text{Depth})^2 + B * \ln \text{Depth} + C$$

"S" viene dimensionado por psi/ft

Coefficientes standard fueron elaborados a partir de estadísticas tomadas de pozos perforados en el Golfo de México y el Canal de Santa Bárbara, siendo sus valores los siguientes:

- * Formación Blanda $S = 0.01304 * (\ln \text{Depth})^2 + 0.17314 * \ln \text{Depth} + 1.4335$
- * Formación Dura $S = 0.01447 * (\ln \text{Depth})^2 + 0.18350 * \ln \text{Depth} + 1.4846$

PRESION DE FRACTURACION:

La presión de fracturación es la presión necesaria para romper la matriz de la roca y sobrepasar la presión de formación

La pérdida de lodo dentro de una formación permeable puede ser más o menos importante, pero en todo caso ocurre en pozos profundos. La interpretación de registros eléctricos resulta muy difícil, a veces, hasta imposible.

La estimación de la presión de fracturación es extremadamente importante en pozos donde se encuentran zonas subcompactadas, es decir, con presiones anormales. El método de "Eaton", que desarrolla el cálculo del gradiente de fracturación a partir del gradiente de sobrecarga y la presión de formación, es sin duda la mejor técnica.

La relación de “Eaton” se basa en los cálculos de “Hubbert” y “Willins”. Ellos razonaron lo que a continuación describiremos:

- * La condición general de la consistencia del subsuelo está caracterizada por tres fuerzas desiguales, y las presiones hidráulicas de inyección deben aproximarse a la menor de estas fuerzas. Agregaron también que en regiones geológicas donde existen condiciones de presiones anormales, la fuerza mas alta sería aproximadamente vertical e igual a la presión efectiva del gradiente de sobrecarga, mientras la menor de las tres sería horizontal y comprendida entre la mitad y el tercio del gradiente de sobrecarga.

Gradiente de sobrecarga: $S = PF + TV$ TV: Fuerza vertical de la matriz
Gradiente de fracturación= $PF + TH$ TH: Fuerza horizontal de la matriz

Eaton, en 1.969, relacionó la fuerza horizontal “TH” y la fuerza vertical “TV” con el coeficiente de “Poisson” UN, expresado como la “Ley de Hooke”:

$$K = (TH/TV) = UN*(1-UN)$$

$$FRAC = PF + (S - PF)*NU/(1 - NU)$$

Coefficiente de Poisson: El coeficiente de Poisson depende de la profundidad, y está representado por la siguiente ecuación:

$$\ln K = A*\ln \text{Depth} + B$$

Los coeficientes **A** y **B** pueden ser deducidos a partir de pruebas de integridad (L.O.T.). Existen dos “sets” de coeficientes standard para formaciones blandas ó duras.

- * Formación blanda $\ln K = 0.266*\ln \text{Depth} - 2.667$
- * Formación dura $\ln K = 0.354*\ln \text{Depth} - 3.607$

FORMULAS DE PRESION:

Presión Hidrostática.- Es la presión ejercida en cualquier punto por el peso de la columna del fluido con el cual se perfora.

$$\text{Presión Hidrostática del Agua: } 0.433*S*H$$

Donde: S= Gravedad específica del líquido (agua= 1.00)
H= Profundidad
Y el 0.433 es el factor de conversión

Ejemplo: ¿Cuál sería la la P.H. ejercida por una columna de agua salada que tiene una gravedad específica de 1.06 a una profundidad de 10.000’?

$$P.H.=0.433*1.06*10000= 4590 \text{ Lbs./Pulg}^2$$

Presión hidrostática ejercida por columnas de lodo:

$$P.H.= 0.052*G*H$$

Donde: G= Densidad del lodo (Lbs./Galon)
H= Profundidad
Y el 0.052 es el factor de conversión

Ejemplo: ¿Cuál sería la la P.H. ejercida por una columna de lodo que pesa 15 Lbs./Galón a una profundidad de 5.000'?

$$P.H.= 0.052*15*5000= 3900 \text{ Lbs./Pulg}^2$$

Presión de Sobrecarga Total.- Es el peso total de los mareas suprayacentes a una formación en particular, dividido entre el área seccional recta.

$$PRESION \text{ DE SOBRECARGA} = (\text{PESO DE LOS SEDIMENTOS} + \text{PESO DE LOS FLUIDOS}) / \text{AREA}$$

Peso de los sedimentos= $(1 - \&)*H*A*Ps$
Peso de los fluidos= $\&*H*A*Pf$

Donde:
&= Porosidad de los sedimentos
H= Espesor en pies
A= Area seccional recta (Pie²)
Ps= Densidad de los sedimentos (Pie³)
Pf= Densidad de los fluidos (Lbs./ Pie³)

$$P_0 = [(1 - \&)*H*Ps + \&*H*Ps] / 144$$

Donde: P₀= Presión de sobrecarga total en Lbs./Pulg²
Y 144 es el factor de conversión de Lbs./Pie² a Lbs./Pulg²

Utilizando gravedad específica en vez de densidad:

$$P_0 = 0.433*(1 - \&)*H*S_s + 0.433*\&*H*S_f$$

Donde: S_s= Gravedad específica de los sedimentos suprayacentes (Agua= 1.00)
S_f= Gravedad específica de los fluidos suprayacentes (Agua= 1.00)

Queda:

$$G_s = P_0/H = 0.433*(1 - \&)*S_s + 0.433*\&*S_f$$

Ejemplo: Calcular el gradiente de presión de sobrecarga en un área en donde la porosidad promedio es de 0.10, la gravedad específica promedio de los sedimentos es de 2.6 y la gravedad específica de los fluidos de la formación es de 1.06

Solución:

$$G_s = P_o/H = 0.433*(1 - 0.10)*2.6 + 0.433*0.10*1.06$$

$$G_s = P_o/H = 1.013 + 0.046 = 1.059 \text{ Lbs./Pulg}^2/\text{Pie}$$

Nota: Dentro de un amplio margen de valores de porosidad, gravedades específicas de sedimentos y gravedades específicas de fluidos, los valores calculados de gradientes de presión de sobrecarga serán aproximados a 1.00 Lbs./Pulg²/Pie

Ojo: Los minerales de arcilla y cuarzo, tienen ambas gravedades específicas alrededor de 2.7. Se puede asumir con mucha seguridad que la porosidad de las rocas estará llena principalmente con agua salada, que tiene una gravedad específica de 1.06.

CLASES DE PRESION DE FORMACIÓN:

La presión sobre los fluidos contenidos en los en los espacios porosos se acostumbra llamarla presión de formación, presión de yacimiento ó presión de la roca.

Subnormal: Gradiente de presión menor a 0.433 lpc/pie (agua dulce)

Normal: Gradiente de presión igual a 0.465 lpc/pie (10% de agua salada)

Subnormal: Gradiente de presión mayor a lpc/pie hasta 1.0 lpc/pie

Ejemplo: Si el gradiente de presión de sobrecarga real es de 0.70 Lbs./Pulg²/Pie, ¿Cuál es el máximo peso del lodo que se puede utilizar?

Solución: $G_s = 0.052*W$ $W = G_s / 0.052$
 $W = 0.70 / 0.052$

Donde W es el peso del lodo y G_s es el gradiente de presión

ECUACIONES BASICAS PARA EL CALCULO DE PERDIDA DE PRESIÓN POR FRICCIÓN:

✓ Dentro del Anular: $B*Q^{1.82}*MW^{0.82}*PV^{0.18}*L / (HS - OD)^3*(HS + OD)^{1.82}$

✓ Dentro de la Tubería: $A(PV/MW)^{0.14}*Q^{1.86}*MW*L / ID^{4.86}$

Donde:

PV: Viscosidad Plástica (CP)

Q: Tasa de Flujo (GPM)

MW: Densidad del Lodo (LPC)

HS: Diámetro del Hoyo (PULG.)

Comentado [G4]: Significado de lpc: libra/pulg²

OD: Diámetro Exterior de la Tubería (PULG.)

ID: Diámetro Interior de la Tubería (PULG.)

CONSTANTE PARA TIPO DE LODO	DENTRO DE TUBERIA	DENTRO ANULAR
Base de Agua	0.0000605	0.0000768
Polímero	0.00004589	0.0000729
Base Aceite Relajado (Ej.: EZ-MUL)	0.0000559	0.0000658
Base Aceite (Emulsión Invertida)	0.0000719	0.0000999

✓ Velocidad: $Vel. A = 24.5 * Q / (HS^2 - DP^2)$

✓ Pérdida de presión en la superficie: $C * MW * Q^{1.86}$

C: 1=1

2=0.36

3=0.227

4=0.15

✓ Velocidad del lodo a través de los chorros= $0.32086 * Q / An$

✓ Velocidad de sedimentación (para diámetro de rипos= 0.3")= $(20 - MW)^{0.667} / MW * PV^{0.33}$

✓ Velocidad de sedimentación: $[53.5 * (WC - W) * D^2 * V] / [6.65 * YP * (DH - DP) + PV * V]$

Donde: WC= Densidad del ripio (lpg) (normal= 22 lpg)

D= Diámetro del ripio (pulg.)

V= Velocidad anular (pies/min.)

✓ Velocidad crítica: $648 * [PV + 3.04 * (DH - DP)] * YP * MW / (DH - DP) * MW$

✓ Tasa de flujo crítica: $(DH^2 - DP^2) * Vc / 24.5$

✓ Area de los chorros necesaria: $MW * Q^2 / Pj * 10858$

✓ Fuerza de impacto: $0.000156 * mw * q * Vn$

Donde: DH: Diámetro del hoyo

DP: Diámetro de la tubería (pulg.)

An: Area acumulada de los chorros

Vc: Velocidad crítica

Lodo de Perforación: Es una mezcla de agua con material arcilloso que permanece suspendido por tiempo considerable, libre de arena, ripios o materiales semejantes.