
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

- Exposición y Resolución de los Problemas que se Presentan al Perforar un Pozo en una Masa Salina.

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO PETROLERO
presenta el pasante:
ENRIQUE BALANDRANO GUEVARA

MEXICO, D. F.

1956

TG90068



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Con profundo amor y agradecimiento
a mis padres a cuyo sacrificio
debo todo.*

A mis hermanos, con cariño.

A mis maestros, con agradecimiento.

A mi escuela.

*A mis familiares y seres queridos que
me alentaron para realizar esta
obra.*

*A la dirección de
Petróleos Mexicanos.*

*Con estimación
a mis compañeros y amigos.*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA
Dirección
Núm. 73-1210 T
Exp. Núm. 73/214.2/- 2348

Al Pasante señor Enrique BALANDRANO GUEVARA
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el señor profesor Ingeniero Francisco Muñoz G., para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero PETROLERO.

"EXPOSICION Y RESOLUCION DE LOS PROBLEMAS
QUE SE PRESENTAN AL PERFORAR UN POZO EN UNA
MASA SALINA".

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar su examen profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Muy atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F. 12 de julio de 1956
EL DIRECTOR

JBS:RFV:eag.

Ing. Javier Barros Sierra

**EXPOSICION Y RESOLUCION DE LOS PROBLEMAS
QUE SE PRESENTAN AL PERFORAR UNA MA-
SA SALINA, REFERENTES A:**

LODOS DE PERFORACION

MUESTREO MECANICO

REGISTROS DE FORMACION

S U M A R I O

LODOS DE PERFORACION

- 1.- Estudio General.
 - a) Definición general de lodos.
 - b) Clasificación de los lodos según su naturaleza.
 - c) Propiedades más importantes del lodo en un pozo petrolero.
 - d) Propiedades de los lodos.
- 2.- Lodo Bentonítico (comportamiento).
- 3.- Lodo Salado (comportamiento).

MUESTREO MECANICO.

- 1.- Objetivo.
- 2.- Tipos de Muestreros (ejemplos).
- 3.- Ventajas y desventajas de estos.

REGISTRO DE FORMACIONES

- 1.- Registro Eléctrico.
 - a) Definición general
 - b) Curvas que se registran
 - c) Registro eléctrico de arena y lutita con aceite y agua salada con lodo bentónico.
 - d) Registro eléctrico de arena y lutita con aceite y agua salada con lodo salado.
- 2.- Registro de Hidrocarburos.

LODOS DE PERFORACION

1.- ESTUDIO GENERAL.-

a).- Definición General de lodos.- En la perforación de pozos petroleros en los cuales se usa el sistema rotatorio, se usa el lodo de perforación que se puede definir diciendo que: "Es una mezcla compleja de materiales químicos orgánicos unos, e inorgánicos otros que quedan suspendidos considerable tiempo en el líquido usado como base". Cada uno de estos compuestos químicos dan al lodo cierta propiedad que es aprovechada para resolver los problemas que se presentan durante la perforación.

Antiguamente, el lodo que se usó era sólo mezcla de agua y arcilla y el objeto principal de éste era de controlar la presión del yacimiento evitando de esta manera un brote imprevisto del pozo, las arcillas que se usaron fueron tal y como se encontraban en el terreno sin ningún proceso posterior.

Con el tiempo y las necesidades, se inventaron aparatos para controlar las propiedades que sirvieron para resolver los problemas que se presentaron en la perforación y que se pudieran modificar con el uso de materias químicas dando así, lugar a la técnica de tratamiento de lodos en la que se emplean diferentes materias químicas, se puede decir que en la actualidad, el control de los lodos de perforación ha llegado a un alto grado de adelanto.

Brevemente se tratará el origen y comportamiento de las arcillas utilizadas en los lodos.

Estas arcillas se encuentran en la naturaleza, en forma de sedimentos no consolidados que se han reducido por la alteración de las rocas que contienen silicatos, se puede decir que son una etapa intermedia entre la desintegración de las rocas ígneas y la consolidación de los productos de esta desintegración, ésta es producto del intemperismo que es el resultado de la acción directa de procesos físicos y químicos.

El resultado del intemperismo, es la reducción de las rocas ígneas a pequeñas partículas, siendo algunas menores de 0.0508 mm, debido a su pequeño tamaño hacen que predominen -- completamente la energía y las fuerzas de la superficie sobre las fuerzas de origen químico, esto hace que la composición química de las partículas dispersas sea de poca importancia al estudiar el efecto de los reactivos que se agregan al lodo, por lo tanto, las arcillas de composición química muy variable se comportarán en forma semejante ante un mismo reactivo.

Las arcillas se clasifican en dos grupos: el de la Kao-

linita y el grupo de la Montmorillonita, el Caolín:

$(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$ es la arcilla más común, contiene un alto porcentaje de material inerte y sus propiedades coloidales son casi nulas, el grupo de la Montmorillonita:

$(Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O)$ al cual pertenece, la bentonita tiene propiedades tixotrópicas bien definidas y se cree sea el producto final del intemperismo de las cenizas volcánicas éstas partículas son pequeñísimas, pues son apenas visibles con poderosos microscopios, absorben agua rápidamente aumentando su volumen de 30 a 40 veces.

Los coloides se dividen en Hidrófobos, que solo forman suspensiones estables si la carga individual de las partículas es suficientemente grande para evitar la coagulación y los hidrófilos, que tienen gran afinidad por el agua, y cada partícula se rodea de una película protectora de moléculas de agua resultando un hinchamiento notable en las partículas.

Las arcillas bentoníticas pertenecen al grupo de los emulsoides, estas son de estructura semejante a la mica o sea de hojas planas y delgadas colocadas en capas, en un extremo de la superficie de estas, hay cationes como Na, H y Ca, la superficie opuesta, debido a la estructura interna, es ligeramente negativa con respecto a la superficie donde se encuentran los cationes, por lo tanto hay una atracción electrostática débil entre las caras opuestas de partículas adyacentes para que las placas se mantengan juntas, pero estas fuerzas electroestáticas son muy débiles y las moléculas de agua pueden introducirse y separar las partículas de arcillas, este -

es el proceso que hace que las arcillas se hinchen con el --
agua, las moléculas de agua se mantienen en su lugar, debido a
las fuerzas electroestáticas residuales que son muy débiles y
aumentan con la ionización de las partículas de arcilla, por--
lo tanto la cantidad de agua retenida por la arcilla debe va--
riar de acuerdo con el metal alcalino o alcalino terreo presente
te, el grado de ionización de las arcillas disminuye de acuer--
do con la serie electromotriz Li, Na, K, NH_4 , Mg, Ca, Sr, Ba e H,
y por lo tanto decrece el grado de hidratación, en cambio la -
capacidad de absorción disminuye hacia el Li y es mayor en el
H.

Una arcilla en suspensión se hidróliza y algunos elemen-
tos absorbidos se disocian en el líquido, puesto que los cationes
absorbidos son mayor en número que los aniónes, las arci--
cillas adquieren una carga eléctrica negativa, debido a estas-
las partículas quedan animadas de un movimiento continuo de os
cilación irregular al que se le ha llamado movimiento Brownia-
no.

b).- Clasificación de los Lodos según su naturaleza.

La clasificación de los lodos de perforación esta basada en 2 sistemas importantes que son: Lodos a Base de agua - y lodos a base de aceite, aunque hay sistemas o divisiones que encierran otra clase de lodos.

Los más usados son los lodos a base de agua y emulsionados con aceite, lodos a base de aceite se usan para propósitos especiales y su uso se ve muy reducido.

En los lodos con base de agua existen subdivisiones secundarias, pero el requisito principal es el uso de agua como base.-

Una clasificación de los lodos de acuerdo con la naturaleza química de los mismos, puede ser la siguiente:

I.- LODOS A BASE DE AGUA.- (Convencionales)

A.- No salinos.- (cloruro de Na menor de 1%, cloruro de Ca menor de 50 ppm.)

- 1.- Lodos de arcilla y agua.
- 2.- Lodos emulsionados con aceite.
- 3.- Lodos a base de agua tratados con fosfatos.- PH 8.5
- 4.- Lodos a base de agua tratados con sosa cáustica quebracho. PH 9.0 a 10.5
- 5.- Lodos a base de agua. Lodo Rojo. PH 11.5 a 13.0

B.- Lodos Salinos o base de agua salada. (cloruro de Na mayor que 1%)

- 1.- Lodos con base de agua, almidón o gomas con alto PH.
- 3.- Lodos a base de agua, almidón o gomas con bactericidas.-

II.- LODOS BASE CALCICA.-

- 1.- Lodo Cálcico Rojo.
- 2.- Lodo a base de yeso o CaCl_2

III.- LODOS EMULSIONADOS CON ACEITE.-

- 1.- Con almidón
- 2.- Con ó sin cal.-

IV.- LODOS BASE DE ACEITE.

V.- LODOS BASE DE SILICATOS DE SODIO.

C).- FUNCIONES MAS IMPORTANTES DEL LODO EN UN POZO PETROLERO.

1.- Para controlar la presión del yacimiento y evitar un brote imprevisto.

2.- Para lubricar y enfriar la tubería y la barrena, debido a la fricción al estar cortando en la formación y también al grado geotérmico de la formación.

3.- Llevantar y sacar a la superficie los recortes que - deja la barrena.

3.- Evitar los derrumbes de las formaciones perforadas - eliminando así la posibilidad de una pegadura de tubería.

5.- Proporcionar un buen enjarre en la pared del agujero evitando la pérdida de lodo hacia las formaciones o flujo de - agua gas o aceite hacia el pozo.

D).- PROPIEDADES DE LOS LODOS.-

El estudio y conocimiento de las propiedades de los Lodos es de capital interés para el control de los lodos de perforación.-

Haremos un estudio somero de las propiedades físicas más importantes, su control y aparatos que se usan para determinar las.-

DENSIDAD.- Un buen control de la densidad del lodo, evitará problemas tales como brotes repentinos, flujos de agua, - de gas y pegaduras de tuberías debido a derrumbes de las pare-

des del agujero. Una densidad adecuada dará el lodo la presión hidrostática suficiente para que no entren fluidos de las formaciones al pozo y para que no se derrumben las paredes del -- agujero como en el caso de lutitas deleznales o formaciones-- no consolidadas, que son las causantes de las pegaduras de la tubería, se debe evitar también tener una densidad muy grande-- pues ésto dará lugar a la fuga parcial o total del lodo, solo-- en el caso de presiones anormales se usará la densidad neces-- aria para controlar el pozo.

La densidad del lodo depende de la cantidad y el peso de los sólidos en suspensión, la densidad de las arcillas ordina-- rias varía entre 2.0 y 2.8 grs/cc, y la arcilla sola aumenta-- la densidad de la mezcla con agua de 1.08 hasta 1.3 aproximada-- mente, en el caso de solicitar aumento de densidad se usarán-- materiales inertes finamente pulverizados, el más comunmente-- usado es la Barita ($BaSO_4$) que tiene un peso específico de: 4.5 grs/cc.

La densidad del lodo se determina por medio de la balan-- za Baroid (fig No 1) que consiste de una base y un brazo de du-- raluminio, el brazo está graduado en donde se leen lbs/gal-- y lbs/ft³, en un extremo del brazo esta una copa con su tapa, y en la parte media hay un nivel de burbuja.

La copa es de volumen constante y esta en un extremo de-- la barra graduada, la cual tiene un contrapeso en la parte o-- puesta.

Para su operación se llena la copa con el lodo y se lim-- pia el exceso adherido por fuera, se coloca en la base y se --

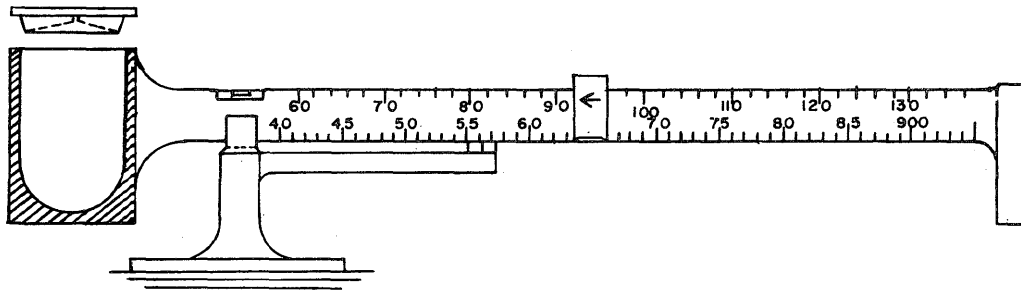


FIG. Nº 1 BALANZA BAROID

U. N. A. M.
ESC. NAC. DE INGS.

TESIS PROFESIONAL

ENRIQUE BALANDRANO G.

nivela con la pieza que corre por la barra graduada, la posición exacta la da el nivel de burbuja y la densidad se lee en la barra ya sea en lbs/gal o en lbs/ft³. Para obtener estos valores en grs/cc se multiplica por el factor de conversión 0.12 si la lectura es en lb/gal y por 0.016 si está dada en lb/ft³. Esta balanza es la de uso común en los campos de perforación, la otra manera de determinar la densidad es con el uso del hidrómetro (fig No 2) Consiste de un flotador cilíndrico de aluminio que se prolonga en su parte superior en una barra de sección cuadrada graduada donde se leen las lecturas directas de la densidad, en la parte inferior de este flotador se conecta una copa de baquelita, todos estos objetos se colocan dentro de un recipiente metálico cilíndrico. Para operar este aparato se llena de lodo la copa de baquelita y se conecta al flotador, se introduce en el recipiente metálico previamente llenado de agua y la lectura de la densidad se lee en la barra graduada hasta donde que el nivel de agua, el uso de éste aparato es frecuente en el laboratorio.

MEDIDA DE LA VISCOSIDAD.- Algunos aparatos son usados para determinar la viscosidad de los lodos de perforación, unos diseñados para uso en el laboratorio y otros apropiados para el uso del campo.-

El aparato comunmente más usado para determinar la viscosidad relativa del lodo es el Embudo Marh (fig No 3), este aparato es un embudo cuyo cono tiene 30 cm de altura, el diámetro en la parte superior es de 15 cms y en la parte inferior se prolonga un tubito de cobre de 0.5 cms de diámetro y 0.5 --

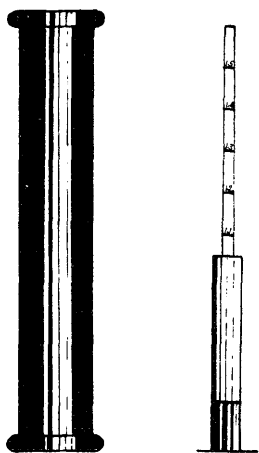


FIG. N° 2 HIDROMETRO

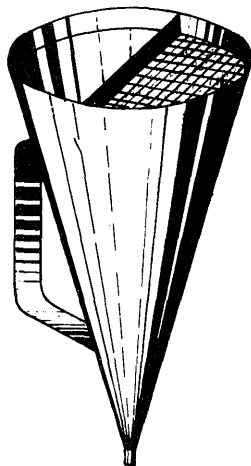
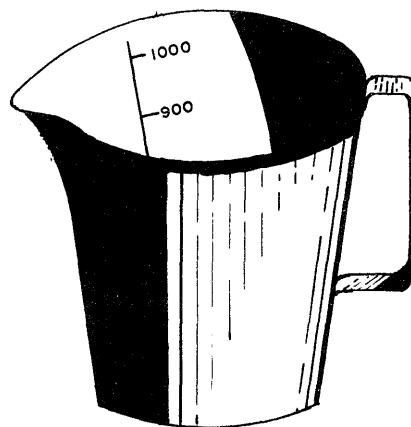


FIG. N° 3 EMBUDO MARSH



| |
|-----------------------------------|
| U. N. A. M. ESC. NAC. DE INGS. |
| TESIS PROFESIONAL |
| ENRIQUE BALANDRANO G |

cms de longitud, en la parte superior del embudo hay tela de s'ambre del No 8 aproximadamente a 2 cm del borde, esta malla cubre la mitad del área. Se tiene un recipiente de 1000 cc graduado interiormente, el embudo tiene capacidad de 1500 cc estando el nivel del lodo hasta la malla.-

La determinación de la viscosidad se hace de la siguiente manera: se llena el embudo de lodo vaciándolo por la malla evitando de ésta manera que pasen recortes al embudo, previamente se ha tapado el orificio interior con el dedo, una vez que el lodo ha sido vaciado en el embudo, se deja salir por el orificio inferior recogiéndose en el recipiente vaso ya descrito, y se toma el tiempo de escurrimiento desde que se quita el dedo, hasta que el nivel del lodo llega a la marca de 1000 cc, la viscosidad se reporta en segundos de escurrimiento, como regla práctica se dice que un lodo tiene una buena viscosidad -- cuando alcanza valores de 45 a 50 segundos.

Para reducir un mínimo los errores debido a la tixotropía, la muestra del lodo se toma en la descarga del pozo a la presa que es donde esta sujeto a cierta velocidad y que destruye la gelatinización, como precaución el embudo debe ser llenado rápidamente y demorar lo menos posible la prueba.

VISCOSIMETRO STORMER.- Consiste principalmente de un cilindro hueco A el cual puede girar libremente dentro de una copa B por medio de un juego de engranes movidos por un cordel E y al cual está sujeto un peso D. La velocidad con que gira el cilindro A se mide con un tacómetro F. El lodo se pone den-

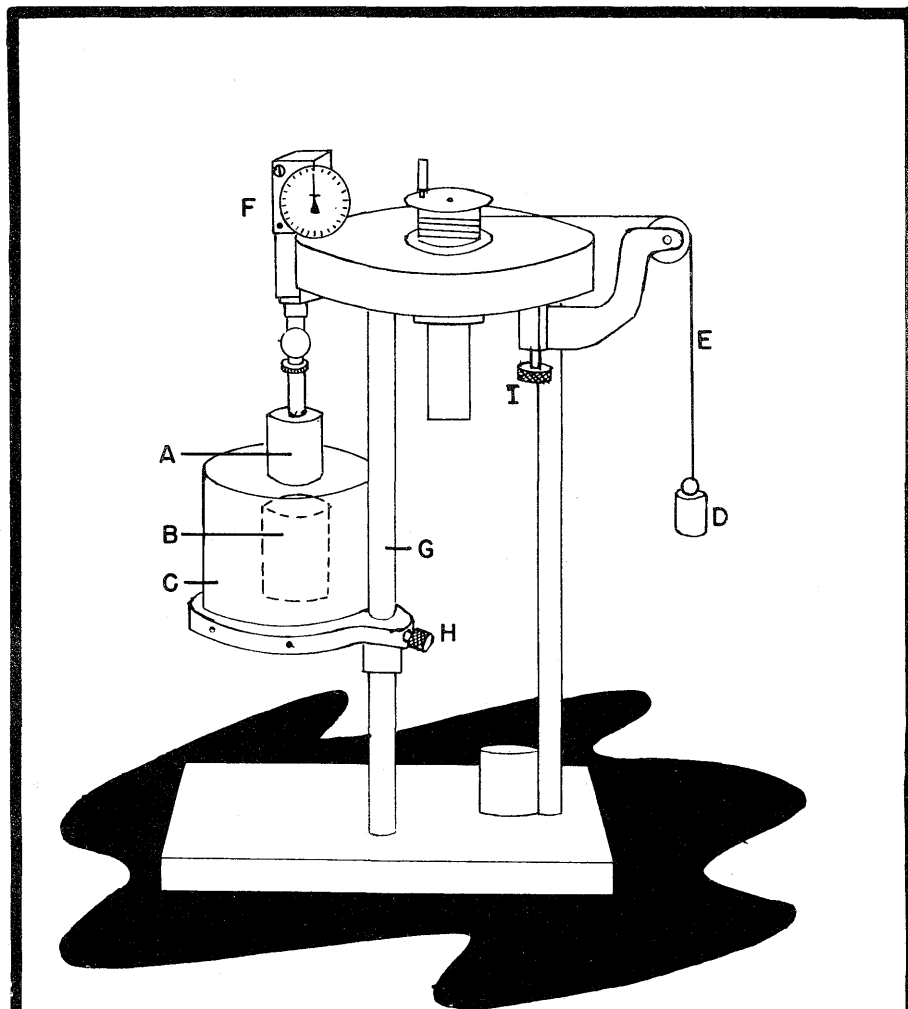


FIG. Nº 4 VISCOSIMETRO STORMER

U. N. A. M.
ESC. NAC. DE INGS.

TESIS PROFESIONAL

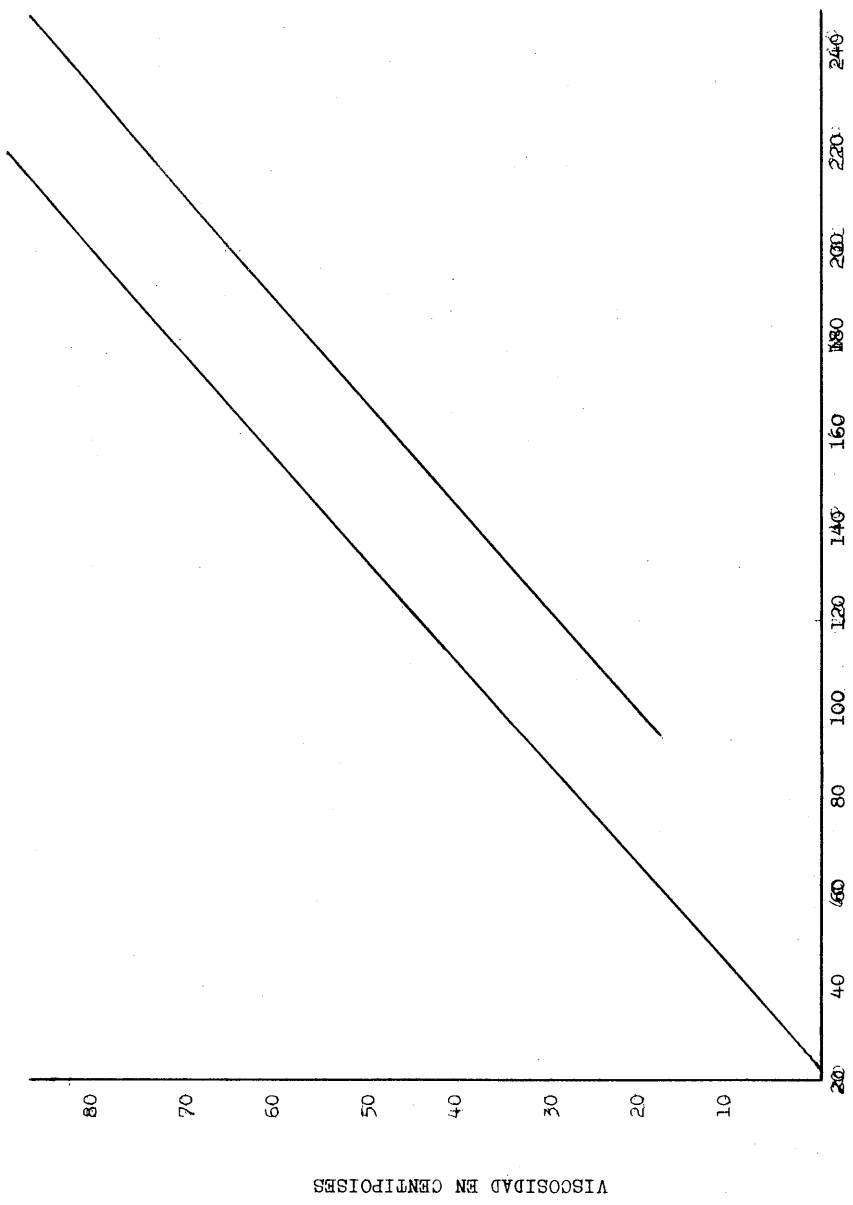
ENRIQUE BALANDRANO G.

tro de la copa B y ésta se coloca dentro de un recipiente C -- que esta lleno de agua a la temperatura a la que se desee hacer la prueba. Este recipiente esta sobre un soporte que se sujeta a la varilla G por medio de un tornillo H, se levanta este soporte hasta que el cilindro A quede totalmente dentro la copa B. Se agita el lodo fuertemente quitando el freno I y accionando el carrete que esta en la parte superior, hecho esto se pone nuevamente el freno, se colocan pesas en el peso D sujetándolas con el cordel E y se quita el freno girando libremente el cilindro A dando las RPM con que gira, en el medidor-F, esta velocidad debe ser de 600 RPM o sean 100 revoluciones en 10 segundos que se marcan con un cronómetro disparador.

Esta prueba se ensaya varias veces quitando o adicionando pesas hasta lograr la velocidad deseada, conocido el peso-- en grs necesarios para hacer girar a 600 RPM el cilindro A, se entra a la gráfica donde estan tabulados los valores de la viscosidad en centipoises.

GELATINOSIDAD O TIXOTROPIA.-- El término tixotropía es aplicado a la propiedad que tiene una suspensión de arcilla en el agua de formar un gel cuando permanece cierto tiempo sin -- agitarse y por medio de la gitación, es facilmente desintegrable tomando rapidamente las características de un fluido. La-- viscosidad aparente de un lodo varía en un amplio rango dependiendo sobre todo, del tiempo que las partículas de arcilla ne cesitan para formar un gel.

Un lodo en circulación rápida a través del poso tiene u-



GRAMOS PARA 600 PM.

na viscosidad aparente de 20 a 30 cp, después de 10 minutos de estar en reposo este lodo puede llegar a tener una viscosidad hasta de 100 cp o más.

Esta es una valiosa propiedad de los lodos porque por este medio se previene que el recorte que deja la barrena y el - que al parar la circulación, queden suspendidos en el lodo, -- sin que se asienten en el fondo del agujero.

Cuando el lodo está en movimiento, el valor de la gela--tinosisidad o "gel strenght" permanece bajo y los recortes que deja la barrena salen del pozo fácilmente, pero si por alguna razón las bombas son paradas por cierto tiempo, por ejemplo para hacer la conexión de un nuevo tubo, el lodo dentro del pozo aumenta su gelatinosidad y los recortes permaneces supendidos en él.

La medida de la gelatinosidad se puede hacer de diferen--tes maneras, la más simple de estas es usando el embudo Marsh como a continuación se indica: Se toma el tiempo de escurri--miento del volumen "standard" de lodo después de agitarse, se deja en reposo esta muestra por un tiempo de 10 minutos des--pués del cual se toma nuevamente el tiempo de escurrimiento, - el valor de la gelatinosidad se obtiene restando al tiempo después de 10 minutos, el tiempo de escurrimiento cuando el lodo está agitado.

El Viscosímetro Stormer también se usa para esta determi--nación, la muestra de lodo es puesta en la copa y se deja en - reposo por espacio de 10 minutos, al final de éstos se colocan pesas en el cordel hasta que se logre hacer girar al cilindro

a un cuarto de vuelta, el valor de la gelatinosidad es el número de gramos necesarios para este efecto.

El Shearometro adoptado por el API (Fig. No. 5), consiste de un cilindro de paredes delgadas de duraluminio que mide 8.9 cm de longitud y 3.5 cm de diámetro interno y pesa 5.0 grms -- (para lodos que tengan bajo valor de gelatinosidad se usa un tubo de iguales proporciones pero de un peso de 2.5 grms.); hay además un recipiente cilíndrico donde se coloca el lodo, tiene una escala vertical en el centro y al fondo de dicho recipiente, tiene su graduación en lbs/100 pies².

En operación, se llena el recipiente con lodo después de agitarlo fuertemente y se coloca el tubo de duraluminio verticalmente de manera que la escala graduada quede en el centro -- de éste y estando el tubo en posición de equilibrio se toma la lectura sobre la escala correspondiente al borde superior del tubo.

Una prueba hecha después de permanecer el lodo en reposo durante 10 minutos y que el valor de la gelatinosidad tenga un rango de variación entre 7 y 20 lbs/100 pies² se dice que es un buen valor práctico y quita el riesgo de que se pegue la tubería o que las bombas trabajen con una presión excesiva.

PROPIEDADES COLOIDALES DEL LODO. -- La habilidad de un lodo de perforación de formar una cubierta adecuada sobre la pared del agujero, de sellar los poros de las rocas y de lubricar la tubería de perforación depende de sus propiedades coloidales.

Los lodos de arcilla y agua, poseen propiedades coloida-

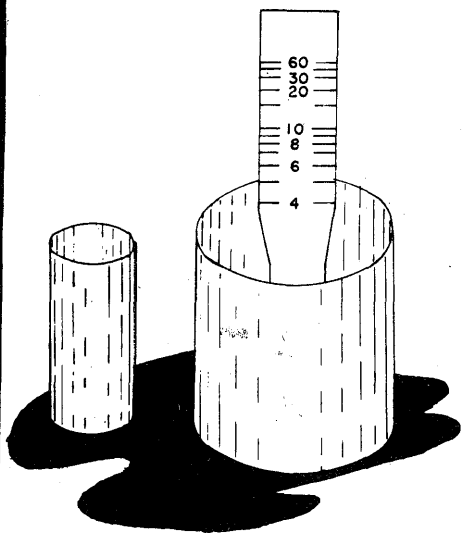


FIG. N° 5 SHEAROMETRO

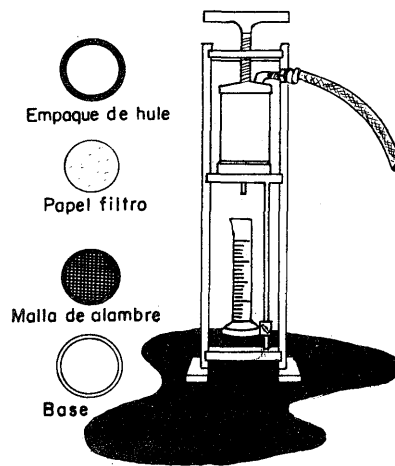


FIG. N° 6 FILTRO PRENSA

U. N. A. M.
ESC. NAC. DE INGS.

TESIS PROFESIONAL

ENRIQUE BALANDRANO

les que varían en un extenso rango, dependiendo sobre todo de las características de la arcilla usada, pero influenciada también por la constitución química de la fase dispersante que en este caso es el agua.

Las arcillas bentoníticas tienen propiedades coloidales más desarrolladas que las kaolinitas y una bentonita especial preparada conocida comercialmente como Aquagel, sirve para adicionarla a los lodos que tienen propiedades coloidales deficientes.

No hay una unidad ni un método para determinar esta propiedad en los lodos en un sentido estrictamente cuantitativo, sin embargo, son usados algunos métodos para indicar los valores relativos de esta propiedad en diferentes lodos y hacer una predicción de su probable comportamiento en funciones donde esta propiedad es un factor determinante.

El método directo es el que ofrece el Filtro-Prensa, en éste la habilidad de un lodo de formar un enjarre bajo condiciones simuladas a las que realmente existen en el pozo, pueden ser observadas.

Un aparato diseñado para estas pruebas es el Filtro Prensa de baja presión. (Fig. No. 6).

Consiste de un soporte donde se coloca un recipiente cilíndrico con la muestra de lodo y a la cual se le aplica presión neumática por la parte superior pasando el filtrado a una probeta colocada en la parte inferior por medio de un orificio.

El recipiente cilíndrico es desarmable y se prepara de la siguiente manera: sobre la base se coloca una malla de alám

bre, un papel filtro y un empaque de hule, la tapa del recipiente tiene un orificio y una conexión para un tubo de hule por donde se aplica la presión. En operación, después de colocar el papel filtro, se pone la muestra de lodo, se coloca en el soporte y la tapadera se sujeta por medio de un tornillo vertical. Se aplica una presión de 100 lbs/pg^2 durante 30 minutos reduciéndose a 7 1/2 minutos para fines prácticos, pues no hay mucha variación en los resultados obtenidos, al final de este tiempo se descarga la presión y se lee el filtrado en la probeta en cc, para conocer el enjarre, se saca el papel filtro, se lava ligeramente el exceso de lodo, se corta por la parte media y se lee el espesor en milímetros.

Se tratará siempre de tener un lodo con un enjarre lo más delgado posible, pues una película gruesa indica una alta pérdida de agua, lo que trae como consecuencia la fácil hidratación de las formaciones hidrófilas y por lo tanto una reducción en el diámetro del agujero que dificulta las operaciones dentro del pozo, como sacar y meter la barrena o la tubería de ademe.

CONTENIDO DE ARENA.- El eleutriómetro (Fig. No. 7), es el aparato usado para determinar el contenido de arena de un lodo.

Consta de un cilindro pequeño que tiene una malla del No. 200, de 6.35 cm de diámetro, en este cilindro se embona un embudo, se tiene una probeta graduada en donde se lee directamente el % de arena.

Se colocan 75 cc de lodo en la probeta y se agrega agua

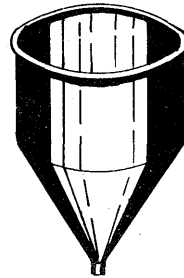
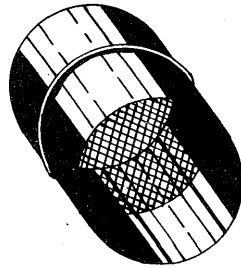
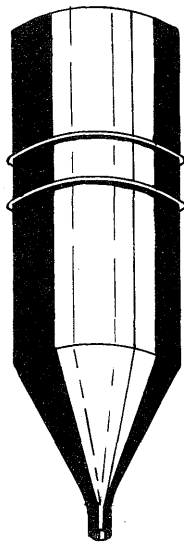


FIG. Nº 7 ELEUTRIOMETRO

U. N. A. M.
ESC. NAC. DE INGS.

TESIS PROFESIONAL

ENRIQUE BALANDRANO G.

hasta completar 250 cc, se tapa con el dedo y se agita fuertemente, después se vacía esta suspensión poco a poco en el eleutriómetro, se agrega agua y se vacía nuevamente de modo que la arena vaya quedando retenida en la malla. Se coloca el embudo en la parte inferior del eleutriómetro y se invierte nuevamente, se coloca el embudo en la boca de la probeta y se vacía agua por la parte superior con objeto que la arena vaya quedando en suspensión con el agua. Se deja reposar la probeta hasta que la arena se asiente y se observa la cantidad de arena depositada reportándose en % de volumen.

El contenido de arena es muy perjudicial en todas las operaciones, ya que debido a esto, da enjarres muy gruesos y altas pérdidas de agua, además que es muy abrasiva y deteriora las partes del equipo que están en contacto con el lodo como son las bombas, tuberías de conexión, de perforación y válvulas.

Se ha fijado que el contenido de arena máximo no exceda al 5% del volumen del lodo.

SALINIDAD.- La salinidad se presenta cuando se perfora una arena que tenga alta saturación de agua salada o cuando se perfora en un domo salino.

Cuando se presentan estos casos, el lodo se descompone, es decir, pierde sus propiedades rápidamente y los síntomas de contaminación son aumento del filtrado, y del enjarre, la viscosidad se baja, y la gelatinosidad aumenta anormemente, es decir el lodo se flocula.

El control de la salinidad se hace por medio de agentes

resistentes a la acción de la sal, mientras el aumento no sea grande, pero si la saturación aumenta se cambiará la base del lodo hasta convertirlo si es preciso a lodo salado.

La salinidad se reporta en cloruros en pp m y el análisis se hace de la manera siguiente.

Se toma 1 cc de filtrado del lodo el cual se diluye en 10 cc de agua destilada a un matrás y se colorea con 4 gotas de cromato de potasio y se titula con una solución N/35.5 de Nitrato de Plata, el cual se agrega gota a gota y agitando continuamente hasta que la muestra vire del color amarillo a un color naranja o rojo ladrillo. El gasto de cc de nitrato de plata se multiplica por 1000 para obtener los cloruros en ppm, es decir que 1 cc de solución de nitrato de plata N/35.5 equivale a 1000 ppm de Cl.

2.- LODO BENTONITICO.- Este lodo se prepara únicamente con agua y Bentonita, y su uso se limita a los comienzos de perforación o en los pozos en los que no se presentan problemas en el lodo; esto reduce grandemente el empleo de reactivos y el costo de la perforación.

Por lo general este tipo de lodo se usa hasta el momento de cementar la primera tubería de revestimiento.

En el pozo Soledad 101, se usó este tipo de lodo desde la superficie hasta 123 M, en el que la columna geológica está constituida de la siguiente manera: de 0 a 50 M de grava gruesa y arcilla gris claro con poca arena grano medio a grueso de color gris claro, pertenecientes al Reciente, de 50 a 87 M Lutita de color gris azulado y verde olivo, plástica en partes -

arenosa y dura que es de edad Oligoceno, a ésta profundidad aparece el "Cap-Rock" ó la cubierta impermeable del domo salino - hasta 107 M constituido en su totalidad de anhidrita blanca y gris claro dura con un bajo porcentaje de lutita verde olivo dura y plástica y con sal blanca cristalizada en fracturas debido al empuje vertical del domo, en este tramo se cortaron núcleos, siendo baja la recuperación debido a que la sal se disolvió con el lodo, recuperando solo anhidrita y lutita. Se penetró en el domo hasta 123 M donde se cementó tubería de revestimiento de 9.5/8".

El lodo usado para perforar esta columna, se preparó con 60 sacos (3000 kgs) de bentonita y se obtuvieron 40 M³ de lodo, sabiendo que se usa 1.5 sacos de bentonita para preparar 1 M³ de lodo, la mezcla así preparada está próximadamente al 7%.

Este lodo así obtenido, no requiere ningún tratamiento posterior, pues las características caen dentro de un margen tolerable como se verá en los análisis que se hicieron para su control de las muestras tomadas en la descarga a la presa.

| | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| PROFUNDIDAD | 87 | 101 | 115 | 123 | 123 | 123 |
| DENSIDAD | 1.12 | 1.13 | 1.13 | 1.13 | 1.14 | 1.14 |
| VISCOSIDAD MARSH | 47 | 46 | 41 | 40 | 40 | 40 |
| TEMPERATURA °C | 32 | 32 | 32 | 32 | 33 | 33 |
| ARENA %VOL. | 8.5 | 7.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| GEL INICIAL | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| GEL 10 MIN. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| PH INDICADOR | 7.0 | 7.0 | 6.5 | 6.5 | 6.0 | 6.0 |
| FILTRADO CC | 11.5 | 11.0 | 20.0 | 20.0 | 25.0 | 25.0 |

| | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| ENJARRE | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| SALINIDAD PPM | 400 | 950 | 23000 | 28500 | 51200 | 51200 |

Observando la tabla anterior, a medida que aumentó la -- profundidad, la salinidad aumentó también, pero se observa que los salinidades de los 2 primeros análisis se puede decir que son de un mismo orden y caen dentro de la salinidad tolerable para no considerarla como contaminación, pero a partir del 3o. la salinidad aumenta de 23 000 ppm hasta 51 200 ppm que corresponde a la aparición de sal franca en los núcleos cortados en ese intervalo, esta salinidad sobrepasa el límite para esta -- clase de lodos en los cuales la mayor aceptada es de 7 000 ppm considerando salinidades mayores, como contaminaciones.

Debido a estas salinidades se observará que las propie-- dades del lodo se van modificando tendiendo a la floculación.

La viscosidad se mantiene prácticamente constante en los dos primeros análisis, pero se baja rápidamente de 46 a 40 seg. lo que trae por consecuencia un aumento del filtrado y el anja rre, este último no aumentó a más de 2 mm a pesar de tener un incremento en el filtrado de 5 cc.

El PH del lodo bentonítico es de 7 ó 7.5, es decir, es - neutro, pero con la salinidad alta, el PH se baja como se vé - en la tabla de 7.0 hasta 6.0.

La medida de geatinosidad no registró ningún cambio, con servándose en 0 a pesar que la viscosidad bajó notablemente.

La densidad se mantuvo en un valor apropiado de acuerdo con la profundidad, ya que no se esperaba ningún flujo hacia - el pozo y mucho menos presiones anormales, se conservó en su -

valor, teniendo una presión hidrostática en el fondo del pozo tal, que no se registraron fugas de lodo.

Con las observaciones anteriores se puede decir que el lodo bentonítico en este caso no presentó ningún problema a pesar de que la salinidad sobrepasó el límite en esta clase de lodos, resistiendo la contaminación perdiendo sus propiedades esenciales, pero sin llegar a la floculación total, que hubiera hecho el cambio de la base del lodo a salado como se hizo al seguir perforando en el domo salino previa cementación de la tubería de ademe de 9.5/8", para aislar la cubierta impermeable y las formaciones superiores.

En el pozo Soledad 102 cercano al Pozo Soledad 101, se perforó hasta 100 M usando este tipo de lodo obteniendo un comportamiento satisfactorio.

El Pozo Soledad 102 es similar litológicamente al Soledad 101, superficialmente se encuentra arcilla gris claro con grava gruesa y arena grano medio a grueso hasta 20 M y que corresponden al Reciente, después aparece el Oligoceno hasta los 60 M constituido por lutitas gris verdoso dura plástica y verde olivo con grava gruesa de grano redondo, a esta profundidad está la cubierta impermeable del domo salino de 60 hasta 110 M y que en su totalidad se compone de anhídrita blanca y gris claro dura y lutita gris verdoso compacta, dura y plástica.

Se preparó el lodo con 45 sacos (2250 Kgs) de Bentonita y se obtuvieron 30 M³ de lodo, este lodo, no necesitó tratamiento posterior, el cuadro de análisis de las muestras de canal nos dan clara idea del buen comportamiento del lodo en el

tramo que se perforaron lutitas y arcillas, y aún cuando la salinidad pasó el límite, no se presentó floculación total del lodo, haciendo posible se cementara la tubería de revestimiento de 9.5/8" aproximadamente a 100 m.

El único tratamiento que se dió al lodo fué adición de agua para darle mayor fluidéz al aumentar la viscosidad lo -- que contribuyó a economizar reactivos especiales.

El análisis de las muestras tomadas en la descarga del pozo son las siguientes:

| | | | | |
|--------------|------|------|------|------|
| PROFUNDIDAD | 53 | 65 | 84 | 100 |
| DENSIDAD | 1.12 | 1.15 | 1.15 | 1.20 |
| VISCOSIDAD | 44 | 46 | 43 | 42 |
| TEMPERATURA | 29 | 30 | 30 | 31 |
| ARENA %VOL | 3.0 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| GEL INICIAL | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| GEL 10 MIN | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| PH INDICADOR | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 6.5 |
| FILTRADO CC | 9.0 | 12.0 | 12.5 | 12.0 |
| ENJARRE | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 2.0 |
| SALINIDAD | 300 | 2000 | 2000 | 2000 |

Como se puede ver, este lodo resistió la contaminación de sal hasta valores relativamente altos, pues sobrepasó el límite de salinidad permitida para estos lodos conservando -- sus propiedades dentro de intervalos de tolerancia.

Las mismas observaciones que se hicieron para el lodo -- usado en el Pozo Soledad 101, son las mismas que para este -- otro pozo y se puede decir que el comportamiento del lodo usa

do en estos pozos fué satisfactorio.

3.- LODO SALADO.- Cuando se va a perforar en un domo sa lino el lodo recomendado a usar es el salado, que se prepara con una arcilla especial llamada Zeogel, que dá un alto rendi miento y tiene características estables de viscosidad y gela- tinosis, esta arcilla actúa como ingrediente en suspensión y ayuda a contrarrestar el efecto de la floculación, sólo que no presenta buenas cualidades de filtración por lo que se usa un material orgánico a base de almidón como son el Impermex y Flogel con los que se controla la pérdida de agua, pues siem pre se tenderá a tener valores de pérdida de agua lo más bajo posible, pues de lo contrario se corre el riesgo de que debi- do a ello, las formaciones deleznales se derrumben ocasionando que se peque la tubería de perforación o ademe.

Ordinariamente el lodo que tiene almidón, está predis- puesto a la fermentación, varias levaduras, hongos y bacte- rias descomponen los almidones en dextrinas, azúcares, ácidos y bióxido de carbono, éstas fermentaciones se pueden prevenir haciendo el medio hostil al desarrollo de estos microorganis- mos que atacan al almidón teniendo en el lodo una alta concen- tración de sal y un PH bajo, o viceversa, baja concentración de sal y un alto PH que se logra adicionando álcalis al lodo.

Hay que tener presente el medio hostil antes de la adi- ción del almidón, así por ejemplo: si se desea alto PH se agre- gan álcalis (sosa cáustica) junto con quebracho para mantener en equilibrio la viscosidad y gelatinosidad hasta que el PH - sea un poco mayor de 12, añadiendo entonces al almidón para -

reducir la filtración al valor deseado.

Cuando la sal se usa para prevenir la descomposición - del almidón, ésta se concentra en la fase líquida hasta que - tenga un contenido del 15 al 25% dependiendo ésto de las ca-- pas de sal encontradas al perforar, el PH se mantiene bajo va riando de 5.0 a 5.5 y la salinidad con esta concentración al canza de 190 000 a 220 000 ppm, entonces se agrega el almidón para obtener los resultados deseados.

Es recomendable el segundo caso, pues el gasto de sal - se hace económico porque se agrega al lodo el recorte que de- ja la barrena y sale al vibrador donde es recogido y vuelto a la presa de asentamiento donde recibe tratamiento y puede - - usarse cuando lo ameriten las circunstancias, además que se - reduce grandemente el uso de material alcalino para controlar el PH que solo se usará cuando se desee variar la viscosidad para tener el lodo en condiciones favorables de trabajo.

El lodo salado en el Pozo Soledad 101 se preparó en la siguiente proporción:

Para obtener 1 M³ de lodo se usaron 20 Kgs de Zeogel, - 50 Kgs. de Flogel y sal en un 25% que dá una concentración de cloruros de 210 a 220 000 ppm.

Durante el curso de la perforación se sigue generando - más lodo, pues a medida que el volumen en el agujero es mayor, mayor será el volumen de lodo necesario para circularlo y que dé el rendimiento deseado. El lodo recibe a su vez tratamien to para controlar sus propiedades y dejarlas en valores acep- tables para trabajar y resolver así los problemas que se pre-

sentan, tales como flujos de agua salada y gas.

El lodo así preparado tiene los siguientes valores en sus propiedades.

Los análisis siguientes corresponden a los tomados consecutivamente y en los cuales no se presentó ninguna dificultad, manteniéndose sus propiedades alrededor de valores estables.

| | | | | | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PROFUNDIDAD | 123 | 151 | 169 | 180 | 201 | 225 | 241 | 257 | 281 |
| DENSIDAD | 1.16 | 1.16 | 1.20 | 1.21 | 1.23 | 1.23 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| VISCOSIDAD | 42 | 43 | 43 | 44 | 45 | 45 | 46 | 46 | 46 |
| TEMPERATURA | 30 | 30 | 30 | 30 | 32 | 32 | 33 | 34 | 34 |
| ARENA | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| GEL INIC | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| GEL 10 MIN | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| PH INDICADOR | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |
| FILTRADO CC | 3.4 | 3.0 | 2.6 | 2.5 | 2.5 | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.3 |
| ENJARRE | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| SALINIDAD miles ppm | 230 | 230 | 220 | 200 | 200 | 205 | 200 | 210 | 210 |

En la tabla anterior se puede observar que solo la densidad tuvo variación mayor, pues no habiendo ningún flujo hacia el pozo, el aumento de la densidad va siendo gradual de acuerdo con la profundidad.

Observando la variación de la viscosidad vemos que para la primera profundidad 123 M, requiere sólo 42 seg y aumenta de manera uniforme hasta 46 seg que corresponde a la profundidad de 281 M, con lo que se logra que los recortes de la barrera sean sacados a la superficie con facilidad y evitar que se depositen en el fondo quedando el agujero obstruido.

Todos los demás valores de las propiedades permanecen casi invariables u oscilando en valores que tienden a conservarse, excepto los del filtrado y enjarre que van ligados íntimamente y se observará que en el primer valor del filtrado 3.4 cc corresponde a una película de 2.0 mm y a medida que el filtrado disminuye hasta 2.2 cc (que es el valor que se conservó hasta la profundidad total de 1000 m), la película disminuye gradualmente de 2.0 hasta 1.0 m.

En todo el curso de la perforación que fué de muestreo continuo desde la cima de la sal hasta la profundidad total alcanzada de 1000 m se conservó el lodo con estos valores en sus propiedades, variándose solamente algunas de ellas para resolver los problemas que se presentaron y que a continuación se expondrán.

FLUJO DE AGUA SALADA.- Son originados por corrientes de agua salada a presión mayor que hidrostática ejercida por la columna del lodo y fluyen espontáneamente al pozo. Cuando esto sucede se observa que el nivel del lodo en la presa aumenta a pesar de estar sacando la tubería. Otro de los resultados en donde se refleja esta contaminación, es que el filtra-

do aumenta y la viscosidad se baja rápidamente.

El tratamiento indicado para controlar esta clase de flujos, es agregar material pesado (barita) hasta que se suspenda el flujo, hecho ésto, se procederá a tratar el lodo para dar a la viscosidad y a la pérdida de agua los valores adecuados para trabajar.

Tratado el lodo se pondrá a circular para que las columnas dentro del agujero y tubería se igualen.

Se recomienda siempre tener marcado en las presas el nivel a donde llega el volumen del lodo para darse cuenta fácilmente si se mantiene en su nivel o tiene variación debido a flujo de agua o pérdida de lodo. Esta variación puede ser en más o en menos, según el caso de que se trate.

En este pozo se presentaron 3 casos de este tipo: el primero a 623 M, se notó ligero aumento en la presa de lodo, al hacer un análisis se encontró la densidad en 43 seg y el filtrado aumentó de 2.0 a 2.4 cc, la película prácticamente se mantuvo constante en 1.5 mm. La densidad se aumentó de 1.26 a 1.28 adicionando Barita con lo que se evitó el flujo de agua, enseguida se trató el lodo con Zeogel subiendo la viscosidad a 45 seg y el filtrado se redujo a 2.0 cc con la adición de Flocgel, volviendo así a sus valores originales. El 2o. a 900 M con iguales síntomas que el anterior, previo análisis, se encontró un descenso en la viscosidad de 44 a 40 seg y aun aumento en el filtrado de 2.0 a 2.6 cc, inmediatamente se subió la densidad de 1.29 a 1.34 evitando el flujo -

de agua, y se trató el lodo logrando bajar el filtrado hasta 2.2 cc con la ayuda del almidón y bentonita, la película se mantuvo constante en 1.5 mm, la viscosidad se aumentó hasta 44 seg dejando al lodo en condiciones de trabajo.

El 3er. caso a 1064 M, en el cual se observó que habiéndose parado las bombas de lodo, continuó saliendo lodo a la presa, y haciendo un análisis de éste, se notó un fuerte aumento en el filtrado de 3.0 a 9.0 cc y en la película, de 1.5 a 2.5 mm; la viscosidad bajó de 43 a 40 seg, el flujo se controló aumentando la densidad de 1.30 a 1.32 y la viscosidad se volvió a su valor original con la adición de 500 Kgs de Bentonita, y la pérdida de agua se controló con 227 Kgs de Flocgel reduciéndola de 9.0 a 3.0 cc, se logró disminuir el valor del enjarre de 2.5 a 2.0 mm.

PERDIDA DE LODO.- La pérdida de lodo se presenta cuando la formación tiene cavernas o presenta fracturas por las que se pierde el lodo, influye bastante la presión con que se bombea el lodo y la densidad del mismo. Cuando esto se presenta, lo indicado a seguir, es, usar algún material obturante como los que hay de celofán y otros a base de fibra de caña; también se pueden usar coagulantes para que tapen los poros de las rocas de la pared del pozo.

En este pozo no se presentó ningún caso en gran escala, lo cual hubiera traído serias consecuencias; pues este pozo se muestreó continuamente en la sal, y el uso de material obturante no es recomendado, pues se taparía fácilmente el mues-

trero y sería imposible establecer circulación. Las pocas - ocasiones en que se notó ligero descenso de nivel en la presa del lodo, se usó Flocgel y Bentonita controlando rápidamente la pérdida aparente del lodo.

Un factor favorable fué que al cortar los núcleos, se usó poca presión en las bombas con lo que se lograron dos cosas importantes: recuperar el mayor porcentaje de muestras en buen estado y se evitó fracturar la pared del agujero, haciendo posible la pérdida de lodo.

FLUJO DE GAS.- El flujo de gas se presenta en forma similar que el agua salada, pero éste cuando es fuerte, logra reducir la densidad del lodo, pues por su densidad las burbujas de gas, tienden a salir a la superficie, entonces la mezcla del lodo y gas tendrá una densidad baja ocasionando brotes en la cabeza del pozo y en el peor de los casos un brote imprevisto que trae siempre serias consecuencias, como son: derrumbes de la pared del agujero y como resultado de ello, pegadura de tuberías y hasta la pérdida del pozo y equipo de perforación.

Para evitar estos problemas, se logra tener siempre un peso adecuado en el lodo y también un buen enjarre, pues de lo contrario, los fluidos de la formación tendrán fácil acceso hacia el pozo, ocasionando lo antes dicho.

En este pozo, a pesar de haber cortado núcleos de lutita conteniendo gas y aceite, nunca se tuvo manifestaciones de gas en el lodo, por lo que el peso del lodo y el buen enjarre

controlaron posibles flujos de gas hacia el pozo. Cuando el gas se manifiesta en la superficie, se desprenden burbujas - del lodo y se siente olor a gas según sea la cantidad, cuando es bastante el gas, el lodo pierde sus propiedades y tiene as pecto de grumos y en ocasiones de espuma. Cuando el gas es - poco, el lodo de la presa se agita con las pistolas para que se desprenda el gas, así se puede evitar aumentar el peso -- del lodo y tal vez con ésto, posibles pérdidas de lodo. Cuan do ésto no es suficiente, se aumentará la densidad del lodo - con Barita hasta que cese el flujo de gas, se cerrarán los pre ventores y se preparará lodo más pesado.

LUTITAS DELEZNABLES.- Cuando existen capas de lutitas - deleznable, éstas fluyen hacia el agujero y traen por conse- cuancia pegaduras de tubería, en ocasiones al hacer un cambio de barrena se encuentra resistencia mucho antes de llegar al fondo del agujero debido a que estas lutitas cierran el agu- jero y se tiene que repasar algunas veces hasta cientos de me tros como si se estuviera perforando.

Las recomendaciones para el lodo, son que tenga un pe-- so adecuado para evitar que fluyan hacia el agujero y de dis- minuir lo más bajo que se pueda el filtrado del lodo, pues es- tas lutitas son muy hidrófilas y rápidamente aumentan su volu- men ocasionando que se derrumben las paredes del agujero.

En el Pozo Soledad 101, se perforó una capa de lutitas de esta clase, pero no ocasionó grandes problemas debido a --

que el lodo conservó siempre buena densidad, otra de las ventajas, fué que se usó lodo salado, y este permite bajar enormemente su filtrado hasta hacerlo nulo si se desea, lo que -- contribuye a que las lutitas no se hidratan fácilmente.

De los resultados obtenidos en el Pozo Soledad 101, en donde se usó esta clase de lodo salado, se demuestra que puede ser usado para perforar pozos con formaciones con alto contenido de sal con resultados satisfactorios.

Aunque el costo por metro cúbico resulta ser comparativamente alto con los lodos ordinarios en un 75% del valor de estos, su empleo, además de presentar ventajas en el manejo, previene las dificultades que se pueden presentar en los lodos ordinarios si con estos se intenta perforar formaciones salinas que en la generalidad de los casos siempre trae como consecuencia la pegadura de la tubería de perforación, y de no resolver este problema, la pérdida del pozo.

Fácilmente se puede decir que el empleo del lodo salado es más económico si se tiene en cuenta que la pérdida de un pozo representa pérdidas totales, tanto por la pérdida de probable explotación como por los gastos efectuados y pérdida de materiales.

Finalmente podemos dar las cualidades más importantes de los lodos salados, como son las siguientes:

- 1.- Permiten fácil control de la viscosidad.
- 2.- Poseen propiedades tixotrópicas adecuadas para man-

tener el material pesado y los recortes en suspensión mientras el fondo está en reposo.

- 4.- La pérdida de agua se puede mantener lo más bajo -- posible.
- 5.- Permite que la arena y recortes se asienten con facilidad en la presa de asentamiento.
- 6.- Permiten elevadas temperaturas sin llegar a la descomposición.
- 7.- Permiten extracción de núcleos con alto porcentaje de recuperación.

MUESTREO MECANICO

1.- OBJETIVO.

De todos los métodos existentes para tener información directa concerniente a las rocas atravesadas durante la perforación, los núcleos son probablemente los más dignos de confianza por ser parte integrante y real de la formación en estudio.

Mediante la obtención, descripción y análisis de -- los mismos, se obtienen datos que permiten conocer a fondo y resolver problemas concernientes a la perforación y a la futura explotación del yacimiento, tanto así como cuantificar reservas existentes de gas y aceite y determinar los contactos de los fluidos contenidos en el yacimiento.

En un estudio cuidadoso de una sucesión de núcleos se podrá ver el cambio de fase vertical y la variación del echado, así mismo el contenido de fósiles será excelente para precisar la Edad Geológica de la formación.

La descripción de los núcleos se hace mediante la observación de los mismos, comenzando por el tipo de roca tal como ignea sedimentaria o metamórfica, su color, compacidad y la composición asentando el material predominante y su porcentaje, y a la vez si existen restos orgánicos, nódulos o materiales pesados. En caso de ser formación cementada se debe referir al tipo del material cementante que puede ser constituido por carbonato, sílice u óxido de hierro, se debe definir cualitativamente el contenido de fluidos, como el gas por ejemplo que por su volatilidad es fácil de reconocer mediante el olfato, el aceite fácilmente reconocible por su fluorescencia y con la ayuda de algún solvente como el tetracloruro de carbono, el contenido de agua es fácil de definirlo por su sabor, pudiendo ser dulce o salada a reserva de hacer un análisis químico. Fácilmente si lo amerita y de ser posible se anotará la estratificación de las capas y los echados correspondientes.

A continuación se darán algunas descripciones de muestras de las más comunes y un ejemplo de cada caso.

MUESTRA DE ARENA

COLOR.- Gris, café, verde, gris verdoso, café rojizo.

GRANO.- Muy fino, fino, fino, medio, grueso.

CONSOLIDACION.- No consolidada, poco consolidada, consolidada.

PERMEABILIDAD Compacta, poco permeable, permeable, muy -
O
COMPACIDAD permeable.

ARCILLA.- Poco arcillosa, arcillosa, muy arcillosa.

CALIZA.- Poco calcárea, calcárea, muy calcárea.

ACEITE.- Poca impregnación, impregnación, buena impregnación, muy buena impregnación. Poco olor y sabor, olor y sabor, ligero, grueso, con emulsión y agua.

GAS DESTILADO.- Sin olor ni sabor, poco olor y sabor, --
con olor y sabor.

EJEMPLO: Arena gris verdoso, de grano fino a medio, consolidada, permeable, poco arcillosa, poco calcárea con buena impregnación de aceite ligero café rojizo.

MUESTRA DE LUTITA

COLOR.- Gris, café, verde, azul, azul verdoso, café rojizo, negra, abigarrada.

ARENA.- Poco arenosa, arenosa, muy arenosa.

CALIZA.- Poco calcárea, calcárea, muy calcárea.

FRACTURA.- Reliz planchado, fósiles, etc.

EJEMPLO:- Lutita café, dura, poco arenosa, calcárea, ---
fracturada en la parte media.

EJEMPLO DE MUESTRA COMPLETA DE ARENA Y LUTITA:

MUESTRA No. 1

INTERVALO: 1320-1322 M DIAM: 7.5/8" RECUPERACION: -
1.5 M (75%).

DESCRIPCION: 0.5 M Arena gris de grano fino consolidada --
compacta, calcárea.

0.4 M Lutita gris verdoso, dura, calcárea con
nódulos de lutita gris oscuro, plástica y sua-
ve.

0.6 m Arena gris grano fino a medio, consoli-
dada, permeable, poco arcillosa CON IMPREGNA-
CION DE ACEITE LIGERO.

MUESTRA DE CALIZAS

COLOR.- Blanca, verde, café, etc.

DUREZA.- Dura, muy dura.

POROSIDAD.- Poco porosa, porosa, muy porosa, cavernosa.

PERMEABLE.- Poco permeable, permeable, muy permeable.

ACEITE.- Poca impregnación, buena impregnación, muy buena
impregnación, poco olor y sabor, olor y sabor.

GAS.- Sin olor, y sabor, poco olor y sabor, olor y sabor.

FRACTURA Y FOSILES.

EJEMPLO: Caliza blanca, dura, permeable con buena impregnación de aceite pesado.

2.- TIPOS DE MUESTREROS.

Los muestreros en general se pueden dividir de acuerdo con su manera de operación en dos grupos:

a) De fondo

b) De pared

Habiendo otras subdivisiones de estos grupos como se hará al tratarlos por separado.

a).- MUESTREROS DE FONDO.

Como su nombre lo indica, sirven para cortar núcleos en el fondo del pozo obteniendo en la mayoría de los casos, - núcleos de muy buena recuperación que permiten detallar sus - características y hacer las pruebas necesarias para definir - las condiciones, que presenta el yacimiento que se estudia. - Los muestreros de fondo comprenden dos tipos que son los siguientes: Muestreros convencionales y muestreros recuperables o de cable.

Los primeros consisten de una barrena especial o corona que sirve para cortar núcleos que se conectan en la parte inferior de un barril, el cual tiene en la parte superior

una conexión en donde se enrosca la tubería con la cual se baja al pozo, esta tubería es la de perforación.

Este barril, que es el exterior, contiene un barril interior ó barril muestrero que es el que contiene a la muestra cuando se corta, no permitiendo su salida en la parte inferior por medio de un "core-catcher" ó canasta retenedora. En la parte superior de este barril, hay una válvula de canica que solo permite el paso del lodo del barril hacia la tubería, ésto sucede cuando el núcleo entra al barril.

La circulación del lodo se hace de la tubería através de los barriles saliendo al espacio anular por medio de la barrena regresando a la superficie, llevando así los recortes que deja al ir perforando.

Para su operación, el muestrero es bajado al pozo por medio de la tubería de perforación llevando 1 ó 2 "drill-collars" para darle peso a la herramienta y que el pozo conserve su verticalidad, estando a la profundidad deseada, se circula lodo para limpiar el agujero y sacar los recortes que se encuentran en él, y se procede a cortar el núcleo haciendo girar a la rotaria con 30 o 40 RPM y con una presión moderada en las bombas, en la práctica se ha visto que para formaciones no muy duras, una presión de 20 a 30 Kgs/cm² es suficiente y que para formaciones duras como sal y lutitas compactas, una presión de 40 a 60 Kgs/cm² es suficiente, pues presiones mayores o excesivas hacen que las muestras se "laven" recuperándose en mal estado y muchas de sus características no se -

pueden apreciar. A medida que se corta el núcleo, pasa al barril evitando el "core-catcher" que se salga; el lodo aprisionado en el barril es expulsado por la válvula ya descrita.

Una película de arcilla del lodo se forma alrededor del núcleo y evita que haya fricción entre éste y el barril.- Cuando el núcleo se ha completado, se paran las bombas de lodo y se aumenta la velocidad de rotación a la rotaria, esto - facilita quebrar el núcleo en su base; esta operación se hace vigilando el indicador de peso que es el que acusa cuando el núcleo se ha quebrado.

Cuando el muestrero se levanta del pozo y durante - él viaje hacia la superficie, el "core-catcher" retiene al núcleo dentro del barril y previene que caiga al pozo.

Núcleos desde 10 pies de longitud se pueden cortar en una operación y bajo muy buenas condiciones, se recuperan núcleos hasta de 20 pies; los núcleos cortados con esta clase de herramienta, varían desde 1.1/4" hasta 5" de diámetro, dependiendo esto del diámetro del pozo, del barril muestrero y del barril interior, así también como de la tubería de perforación con que se opera la herramienta.

Haremos la descripción de algunos de los muestreros de este tipo.

MUESTRERO SUPER KING REED.

Este muestrero consta de un barril exterior, un barril interior y la corona, en la parte inferior del barril interior y la corona, se aloja el "core-catcher", que es del tipo de hojas de acero. La circulación se establece entre los dos barriles y sale el lodo en la corona hacia el exterior -- por medio de unos agujeros que se encuentran arriba de los roles de la barrena y que de esa manera sirve el lodo para lavarlos y evitar que se congestionen con el recorte.

Al ir cortando el núcleo, el lodo contenido en el barril es expulsado por medio de una válvula de canica que se encuentra en la parte superior del barril interior.

El barril interior está suspendido sobre soporte, el cual está entre el barril exterior y el sustituto superior, estos soportes tienen dos empaques de hule, uno superior y otro inferior, entre los cuales se aloja un "Bushing" de bronce; todo esto hace las veces de un "swivel" que permite que el barril interior tenga un movimiento relativo al del barril exterior cuando este gira por acción de la tubería de perforación.

El barril interior no puede sacarse del barril exterior con el núcleo a menos que vaya a ser reparado, por lo que se aconseja que la conexión que corresponde a esta parte, nunca sea desenroscada. Esta construcción asegura una completa estabilidad del barril interior, permitiendo que el barril

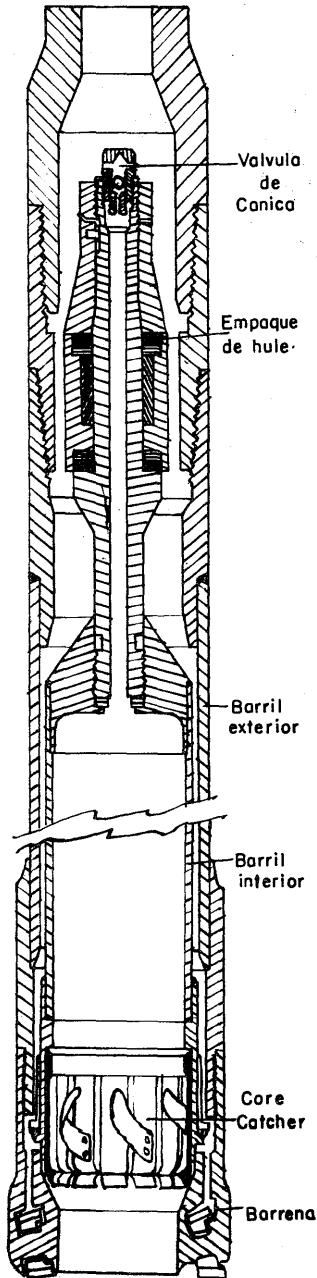


FIG. N° 8
MUESTRERO
SUPER KING REED

| |
|-----------------------------------|
| U. N. A. M. ESC. NAC. DE INGS. |
| TESIS PROFESIONAL |
| ENRIQUE BALANDRANO G. |

exterior gire libremente alrededor de él y del "core-catcher", al estar cortando el núcleo.

Para sacar el núcleo en la superficie se desconecta la corona y se saca por la parte inferior del barril interior, la recuperación de los núcleos es alta y no se destruyen cuando entran al barril, obteniéndose en buen estado.

Las coronas que se usan en estos muestreros son de acero y tienen 8 roles con dientes que pueden estar colocados hacia la derecha, hacia la izquierda o rectos, estas coronas se usan para cortar núcleos en formaciones duras y semiduras como en calizas compactas, sal y en domos de azufre, observándose muy buen comportamiento.

El muestrero Standar Super King, tiene 15 pies de longitud y usa coronas de 7.7/8" de diámetro y los núcleos -- obtenidos son de 5" de diámetro, sin embargo hay barriles de 10 pies hasta 25 pies, obteniendo con todos muy buenas recuperaciones de núcleos.

MUESTREROS RECUPERABLES (DE CABLE).

El tipo de muestreros de cable, ofrece la facilidad de tomar núcleos cuando se desee y evita sacar la tubería de perforación disminuyendo la pérdida de tiempo.

Estos muestreros son usados con barrenas de perforación especiales, que comunmente son del tipo de rolles en los cuales un elemento de la parte central de la barrena llamado obturador o comunmente "ciego", es desalojado de su lugar por medio de un cable y un pescante que se baja através de la tubería cuando desea cortar un núcleo, poniendo en su lugar el barril muestrero por medio de la presión de las bombas de lodo hasta que ocupa su lugar en la barrena y quede en posición de cortar.

Cortado el núcleo deseado, el barril es recuperado por medio de un pescante del tipo "over-shot" que se baja con un cable y lo levanta por su extremo superior hasta la superficie; inmediatamente el obturador o ciego es restituido en su lugar para que se circule y evitar que se pueda pegar la tubería.

Entre los muestreros de este tipo podemos describir uno de los más usados en la industria petrolera.

MUESTRERO HUNT RECUPERABLE.

La figura No. 9, ilustra un muestrero de este tipo y opera de la siguiente manera:

Está constituido por 3 elementos esenciales como son: el barril exterior que tiene un substituto superior para hacer conexión con la tubería con que se baja al pozo; en la parte inferior de este barril, se conecta la barrena que es el elemento cortante de la herramienta y que es del tipo de rolles, por último, el barril interior o barril muestrero, en la parte inferior se coloca el "core-catcher" que es de hojas de acero flexibles y que estando el núcleo dentro del barril impide su salida, en la parte superior, se conecta el elemento que contiene a la válvula que permite la salida del lodo del barril hacia la tubería y que es del tipo de canica como todas las que se usan en estos muestreros, también contiene al elemento de pesca especial para pescante "over-shot". La circulación del lodo se hace por medio de los dos barriles -- hasta la barrena que es por donde sale al agujero y regresa a la superficie.

Cuando se desea cortar un núcleo, se baja con la tubería de perforación y estando en la profundidad deseada se circula para levantar el recorte que se asienta en el pozo, se desconecta el "Kelly" y se mete através de la tubería un "overshot" con cable para sacar el elemento obturador que está alojado en la barrena en el lugar que ocupará el barril --

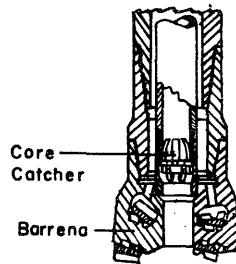
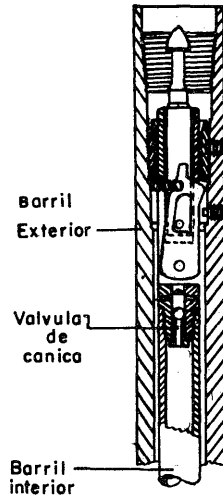


FIG. N° 9 MUESTRERO HUNT RECUPERABLE

U. N. A. M.
ESC. NAC. DE INGS.

TESIS PROFESIONAL

ENRIQUE BALANDRANO G.

muestrero, hecho ésto, se baja el barril interior y es conectado de nuevo el "kelly" bombeando luego lodo poco a poco hasta ver que el barril llegue y se aloje en su lugar, un pequeño aumento en la presión del lodo es marcada, cuando ésto ha sucedido y la herramienta queda en disposición de cortar el núcleo.

Después que el núcleo es cortado, el barril es recuperado con el pescante de cable y el obturador se vuelve a colocar en la barrena con la ayuda de las bombas de lodo. En la superficie, el barril muestrero, se procede a sacar el núcleo desconectando la parte inferior donde se aloja el "core-catcher" y en la parte superior donde se aloja la válvula, -- permitiéndolo así que el núcleo sea sacado con facilidad del barril utilizando una varilla que hace las veces de un pistón.

Las dimensiones de los núcleos dependen del diámetro del muestrero y del barril, así como de su longitud; los más usados son los de $7.5/8$ " exterior que trabajan en agujero de $8.5/8$ " y tienen un barril que corta núcleos de $2.1/2$ " de diámetro y de 6 a 10 pies de longitud obteniendo buenas recuperaciones cuando se trabaja con un peso y presión moderadas para evitar que el núcleo se rompa y salga en mal estado.

b).- MUESTREROS DE PARED.

Los muestreros ya descritos son diseñados para cortar núcleos de las formaciones expuestas en el fondo del agujero durante el progreso de la perforación.

Sin embargo, hay veces, que se desea cortar núcleos de un intervalo de formación que ya ha sido perforado por la barrena, y en tales casos, se usan herramientas capaces de tomar núcleos de la pared del pozo.

Por ejemplo: una formación productora fué perforada rápidamente y sin hacer intentos de cortar núcleos de fondo - durante la perforación, después, del resultado de analizar -- los registros eléctricos, se interesa que de cierto intervalo particular se corten muestras de pared para comprobar los datos de los registros eléctricos y hacer pruebas de laboratorio.

Dos tipos de muestreros los cuales su uso es positivo, se usan para estos propósitos: uno actuado por presión - hidráulica y otro por fuerza explosiva.

Cabe citar entre los primeros, un muestrero en el - que se utiliza tanto la presión hidráulica como la rotación - de la tubería; este tipo de muestrero de pared es recuperable por medio de cable.

Se hará la descripción de un muestrero de cada tipo de estos.

MUESTRERO DE PARED BAKER.

Esta herramienta (Fig. No. 10), es bajada en el pozo en el extremo de la columna de la tubería de perforación con las hojas en posición colapsada, cuando la herramienta está suspendida dentro del pozo en el punto donde se desea tomar la muestra, la presión de las bombas es aplicada al lodo a través de la tubería. Después que las hojas están en contacto con la pared del pozo y la presión de las bombas está aplicándose, el peso de la tubería es aplicada poco a poco sobre la herramienta; ésto causa que las hojas penetren en la pared y corten una muestra de la formación cada uno de los casquillos muestreadores.

El diámetro interior de cada casquillo es más pequeño en la sección cortadora que en la base, dándole la forma de un cono truncado, teniendo la base menor hacia la pared del pozo. Esto ayuda a que el núcleo que entra al casquillo se expanda dentro de él y evita que se salga de él cuando suba el muestrero a la superficie, ya sin la presión de las bombas y las hojas de nuevo en posición colapsada.

Los núcleos tomados cortados con esta herramienta son de 2.1/2" de largo y tienen 11/16" de diámetro; la longitud de estos núcleos permite hacer las pruebas en el laboratorio.

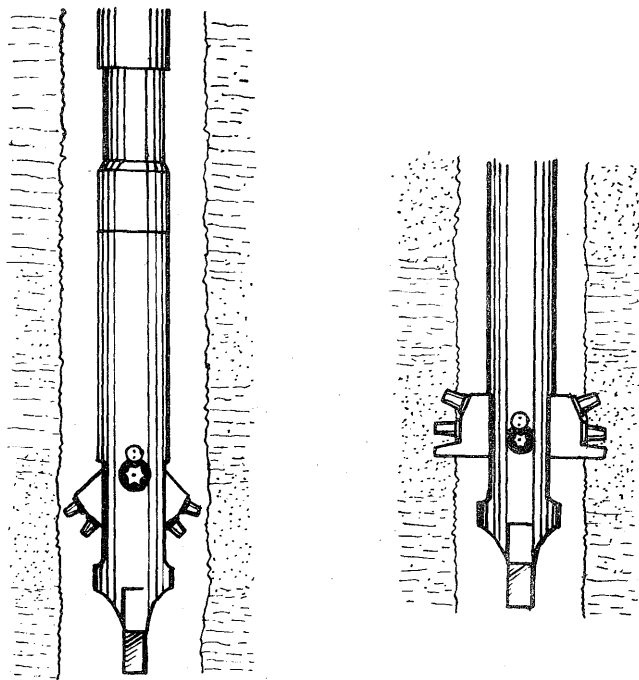


FIG. N° 10 MUESTRERO DE PARED "BAKER"

U. N. A. M.
ESC. NAC. DE INGS.

TESIS PROFESIONAL

ENRIQUE BALANDRANO G.

MUESTRERO DE PARED SCHLUMBERGER.

Este instrumento (Fig. No. 11), constituye un cuerpo principal de acero de forma tubular que contiene 6, 12 ó 18 pequeños tubos ó casquillos muestreadores que son incrustados en la pared del agujero, debido a un disparo de una carga explosiva.

La herramienta es bajada al pozo por medio de un cable multiconducoor, las balas son disparadas desde la superficie por medio de un control eléctrico.

El diámetro de esta herramienta es de 5" y los casquillos muestreadores que son de acero, tienen 3.3/4" de diámetro, cada tubito o casquillo está conectado al cuerpo de la herramienta por dos resortes de acero que sirven para desincrustarlos de la pared del agujero con su contenido de muestras y los retienen dentro del cuerpo de la herramienta cuando se saca del pozo.

Cada carga se puede disparar separadamente y a la profundidad que se desea, generalmente los intervalos que son nucleados se determinan con la inspección de un registro eléctrico.

Las muestras así obtenidas son de 3/4" de diámetro y de 1.1/2" a 2.1/2" de largo.

Los tubos de acero cortadores normalmente penetran

algunas pulgadas en la pared del pozo, esta longitud es in- -
fluenciada por la película de lodo que se deposita en la pa--
red del agujero.



FIG. N° 11

MUESTRERO DE PARED
SCHLUMBERGER

U. N. A. M.
ESC. NAC. DE INGS.

TESIS PROFESIONAL

ENRIQUE BALADRANO G.

MUESTREO DE PARED A-1.- (Fig. No. 12)

Está compuesto de tres partes importantes:

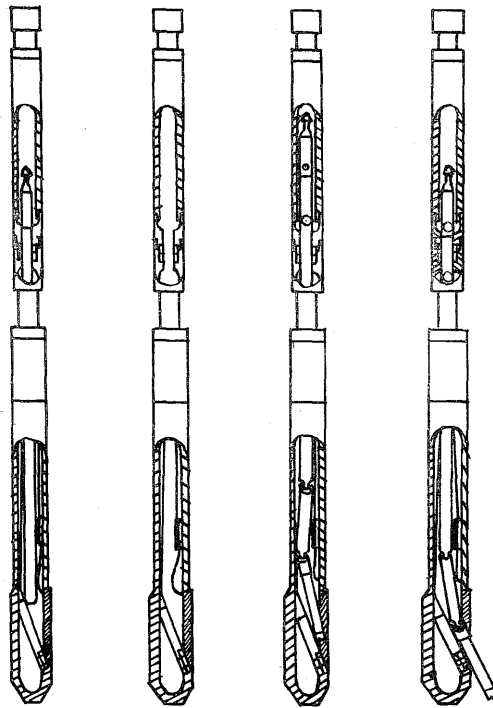
- 1).- Un barril exterior,
- 2).- Un barril interior con su corona y
- 3).- Un obturador.

El barril exterior comprende una junta que transmite el par o rotación de la tubería de perforación al barril interior, un sello de hule que cierra el espacio anular entre el barril exterior y el barril interior y un swivel que transmite la rotación al barril y la corona, permaneciendo sin movimiento la parte inferior del barril exterior, en tanto está girando la tubería de perforación.

El barril interior, comprende una sección tubular, dos juntas universales en serie, conteniendo la del extremo inferior el barril y la corona.

El obturador es similar al anterior, excepto que -- las juntas universales no son usadas.

METODO DE OPERACION.- La herramienta es bajada al pozo con la tubería de perforación aproximadamente unos 60 -- metros; entonces el obturador es colocado soltándolo a través de la tubería de perforación y viene a descansar sobre el -- "swivel", entonces se continúa bajando con la tubería hasta -- llegar al lugar deseado para cortar el núcleo. La circulación



12 A

12 B

12 C

12 D

FIG. N° 12 MUESTRERO A-1 DE PARED

U. N. A. M.
ESC. NAC. DE INGS.

TESIS PROFESIONAL

ENRIQUE BALANDRANO G.

se establece de nuevo en tanto el lodo es acondicionado (Fig. No. 12 A); durante esta operación la tubería es movida hasta quedar en el lugar exacto donde va a operar el muestrero, por medio de un pescante especial bajado con un cable, se saca el obturador (Fig. No. 12 B), y se suelta en su lugar el barril y se coloca una cabeza de circulación bombeando lodo hasta que el barril se aloje en su posición, ésto es notado con un ligero aumento en la presión del lodo (Fig. No. 12 C). Entonces se dá rotación a la tubería por medio de la rotaria y la presión de circulación se ajustada al valor deseado para empezar a cortar el núcleo.

El lodo circulando, pasa a través de la tubería de perforación, los agujeros del barril, la sección tubular y -- las juntas universales alrededor del barril interior y sale -- hasta la corona completando su circuito al salir por el espacio anular hasta la superficie.

Como un resultado de la presión ejercida sobre el barril y la rotación trasmitida hasta la corona por medio del "swivel", la corona introduciéndose en la pared del agujero, cuando el barril se ha llenado con la muestra, (Fig. No. 12 D), se nota un descenso en la presión del lodo y un aumento en la circulación; hecho esto, se procede a sacar el barril por medio del pescante con cable y el muestrero se puede mover a la profundidad deseada para cortar el siguiente núcleo, la misma operación es repetida tantas veces como núcleos se deseen. -- Los núcleos obtenidos son aproximadamente de 30 cm de largo y de 2" a 2.1/2" de diámetro.

3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MUESTREROS.

Ventajas de los muestreros convencionales:

Tienen altas recuperaciones cuando se operan convenientemente.

Los núcleos obtenidos dan idea clara de las formaciones, pudiendo determinar con exactitud el contacto entre formaciones diferentes.

Los núcleos tienen un diámetro suficiente para tomar muestras de ellos y hacer análisis con exactitud aproximada ya que se puede excluir la parte invadida por el filtrado del lodo.

Se pueden operar en formaciones blandas y duras obteniendo buenos resultados en todos los casos.

Desventajas de estos muestreros:

Para recuperar un núcleo hay necesidad de sacar toda la tubería con el muestrero, lo que significa pérdida de tiempo.

No se puede profundizar mucho en agujero reducido, porque se corre el riesgo de que se pegue la tubería y se pierda la herramienta. Como medida práctica se muestrea un intervalo de 30 a 40 M y después de eso se amplía el agujero.

No se puede sacar el barril interior para recuperar el núcleo.

Para cada operación se debe acondicionar el lodo en el fondo para limpiar el agujero y sacar el recorte que se ha asentado debido a que permanece mucho tiempo en reposo y se - floclula.

Todas estas desventajas son compensadas con el buen resultado que ofrecen ya que lo importante en un pozo, es conocer lo más exacto que se pueda a las formaciones que se perforan para poder fijar un programa de posible explotación.

VENTAJAS DE LOS MUESTREROS RECUPERABLES.

Se pueden obtener buenas recuperaciones operándolos técnicamente.

Los núcleos obtenidos dan buena información tanto geológica como litológica.

Con los núcleos obtenidos se pueden hacer determinaciones en el laboratorio y compararlas con las calculadas de los registros eléctricos.

Trabajan indistintamente en formaciones blandas y duras, cambiando únicamente la barrena y el "core-catcher" necesarios.

Evita pérdida de tiempo al sacar el núcleo, pues sólo se saca el barril interior.

Permiten cortar núcleos continuamente sin necesidad de sacar la tubería y acondicionar el lodo continuamente.

LAS DESVENTAJAS DE ESTOS MUESTREROS SON LAS SIGUIENTES:

No se puede profundizar en el agujero reducido por que se corre el riesgo de que se pegue el muestrero, se pueden muestrear hasta 20 M.

La perforación es lenta debido a que no se puede -- poner mucho peso sobre la barrena porque se desvía el agujero.

No se pueden cortar núcleos muy grandes, quedando -

limitada esta longitud de acuerdo con la longitud del barril interior. Los barriles más usados son los de 2 M.

De los muestreros de pared podemos decir lo siguiente:

Los núcleos obtenidos son de tamaño muy pequeño, lo que nos dá un conocimiento exacto de la formación.

Como los núcleos son tomados arriba del fondo del pozo, el filtrado del lodo invade la pared donde se cortan, por lo que se obtienen con bastante impregnación de agua, y aunque litológicamente es una muestra exacta, no lo es así referente a los flúidos contenidos porque estos son parcialmente desplazados hacia la formación.

Esto hace que los núcleos así obtenidos presenten dificultades para hacer análisis de laboratorio, y de hacerse, los resultados comparados con los obtenidos de los registros eléctricos son diferentes.

Se puede tomar un núcleo en donde el registro eléctrico acuse datos dudosos y aunque lo recuperado sea sólo "un testigo", servirá para esclarecer lo dudoso del registro eléctrico.

Por todas estas razones, el uso de estos muestreros es reducido, operándose con más frecuencia el muestrero A-1 que es el que dá mejores resultados debido a que se pueden obtener núcleos de mayor tamaño que los otros.

REGISTRO DE FORMACIONES

1.- REGISTRO ELECTRICO.

a).- Definición General.

El método para determinar el carácter litológico de las formaciones expuestas en la pared de un pozo y de los flujos contenidos en ellas es el de los Registros Eléctricos, -- que se basa en la medida de la resistividad eléctrica y en -- las diferencias de potencial debido a la electrósmosis y electrofiltración.

Con este método se tiene un diagrama completo del -- agujero que sirve para decidir intervalos de explotación y fijar niveles de agua, así como de las correlaciones de varios pozos de un campo se pueden localizar las fallas que tenga -- una estructura y dar nuevas localizaciones con bastante mar--gen de seguridad.

b).- Curvas que se registran.- POTENCIAL NATURAL.

La medida del potencial natural se hace introduciendo en el pozo un electrodo por medio de un cable conductor -- perfectamente aislado, en el extremo superior del cable antes dicho, está conectado un electrodo en tierra cuyo potencial -- se supone constante y vale 0. Para cada posición del electrodo dentro del pozo, un voltmetro en la superficie marca la diferencia de potencial de ese punto en el pozo y el electrodo a tierra, estas variaciones tomadas sucesivamente son registradas en una película sensible por medio de aparatos diseñados para este efecto, lo que nos dá un registro continuo -- del potencial natural de las formaciones.

El potencial natural tiene su origen en dos efectos:

a). El efecto electroquímico

b).- El efecto de electrofiltración.

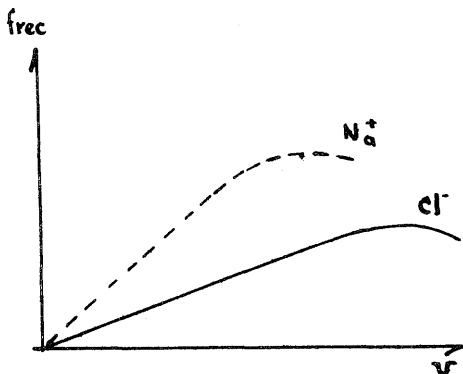
El efecto electroquímico es generado a su vez de dos maneras:

1o.- Entre una arena y el lodo de perforación.

2o.- Entre una arena y el lodo de perforación
a través de una lutita.

1o.- Entre una arena y el lodo de perforación.- Las arenas por su condición de depósito tienen agua intersticial cuyos iones están animados de cierta velocidad, si se conociera la velocidad de cada uno de ellos, se podría graficar para

el Na^+ y el Cl^- .



De esta gráfica se observa que la velocidad media del cloro es mayor que la del sodio; en consecuencia al ponerse en contacto dos soluciones de distintas concentraciones como es el caso de l agua intestinal -

de la arena y el lodo, y como la concentración del agua intersticial es mayor que la del lodo y tenderán a igualarse con el tiempo a través de la película de lodo, es decir pasarán constantemente iones de la arena al lodo, pero como la velocidad media del cloro es mayor que la del sodio, pasarán mayor cantidad de iones cloro, o sea que el lodo de la película correspondiente al agujero se irá cargando negativamente.

Este movimiento de los iones genera una fuerza electromotriz (f.e.m.) entre la arena y el lodo que se irá extinguiendo con el tiempo, cosa que se puede notar en los registros eléctricos de un pozo tomados a diferentes tiempos, las variaciones en los valores de esta f.e.m. es lo que nos dá las diferencias de voltaje que son las que se registran en la película sensible.

La valuación de esta f.e.m. se puede hacer por medio de la ecuación de Nernst:

$$E = K \log \frac{C_s}{C_m}$$

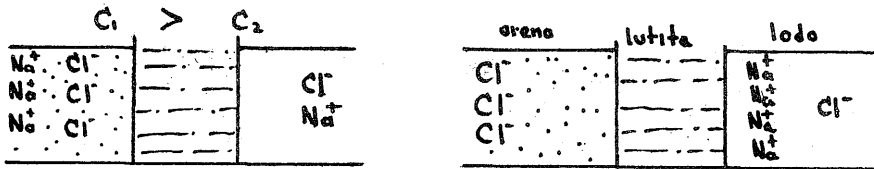
donde:

C_s : concentración del agua intersticial de la arena

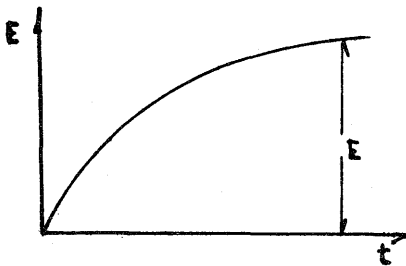
C_m : Concentración del lodo

K : Constante que depende de la temperatura o también está en función de las resistividades de las soluciones.

20.- Entre una arena y el lodo a través de una lutita.- Cuando se ponen en contacto dos soluciones de distinta concentración separadas por una lutita, ésta actúa como una barrera al paso de los iones Cl^- por lo tanto como C_1 (concentración del agua intersticial) es mayor que C_2 (concentra-



ción del lodo), los iones Na^+ pasan a través de la lutita al lodo cargándose éste positivamente, como se observa en las figuras.



Graficando las lecturas del voltmetro contra tiempo, se tendrá una gráfica de esta manera. El valor de E (f.e.m.) se puede obtener con la ecuación de Nernst.

$$E = K \log \frac{C_s}{C_m}$$

Electrofiltración.- Tiene poca importancia, ya que se efectúa solamente cuando existen diferencias de presión --

grandes entre el agujero y la formación que es el caso de usar se lodo muy pesado y formaciones arenosas no consolidadas, -- por lo que no se tratará.

Se hará un análisis de una suceción de capas de arenas y lutitas.- En el efecto electroquímico las fuerzas electromotrices generadas son:

$$E_1 \text{ y } E_2$$

La f.e.m. total será

$$E = E_1 + E_2 \qquad K = K_1 + K_2$$

en consecuencia:

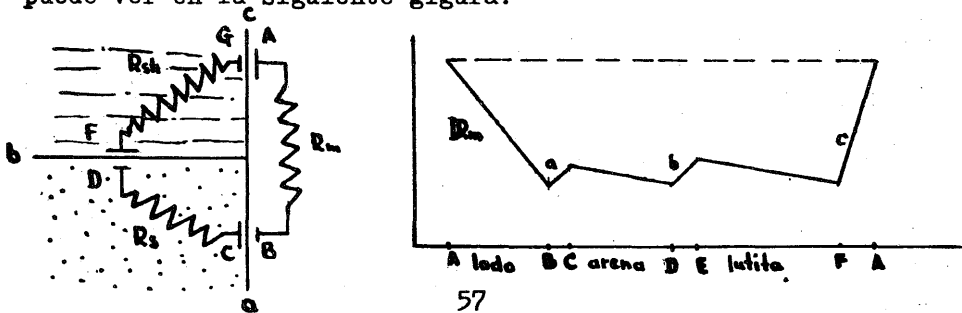
$$E = (K_1 + K_2) \log \frac{\rho_m}{\rho_w} \qquad E = K \log \frac{\rho_m}{\rho_w}$$

como lo que se toma es la resistividad del fultado, se puede escribir:

$$E = K \log \frac{\rho_{mf}}{\rho_w}$$

fórmula general.

La caída mayor de potencial debida a las diferentes resistencias es la debida a la resistencia del lodo como se puede ver en la siguiente figura:



Las arenas y las lutitas tienen una área muy grande para que circule la corriente, siendo la resistencia muy pequeña, y en el lodo el área del agujero es pequeña teniendo por lo tanto una resistencia muy grande, por la ley de Kirchoff - se tiene:

$$IR_m + IR_s + IR_{sh} = a + b + c$$

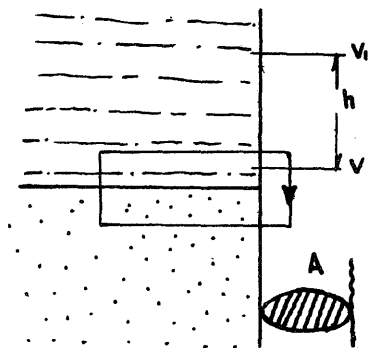
como se sabe que:

$$R_{sh} \ll R_m \quad \text{y} \quad R_s \ll R_m$$

se desprecian los productos IR_s y IR_{sh} , en consecuencia:

$$IR_m \doteq a + b + c$$

Por lo tanto el registro del potencial natural del lodo frente a las lutitas, será mayor que frente a las arenas, ya que por la Ley de Ohm, el potencial disminuye en la dirección de la corriente.



Sean dos puntos cuyos potenciales sean V_1 y V separados por una distancia h .

$$V_1 - V = I \rho_m \frac{h}{A}$$

ρ_m es constante para intervalos pequeños ya que varía en función de la temperatura.

Se puede decir que la caída de potencial depende de las variaciones del valor de h.

$$V_1 - V = I \rho_m \frac{h}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Diferenciando la ecuación 1 se tiene:

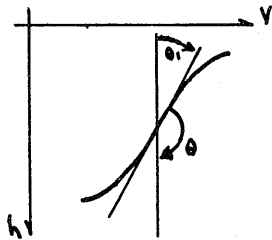
$$-\frac{dV}{dh} = \frac{\rho_m}{A} I + \frac{\rho_m}{A} h \frac{dI}{dh} \dots \dots \dots (2)$$

y considerando que:

$$\frac{\rho_m}{A} h \frac{dI}{dh} \ll \frac{\rho_m}{A} I$$

se puede escribir:

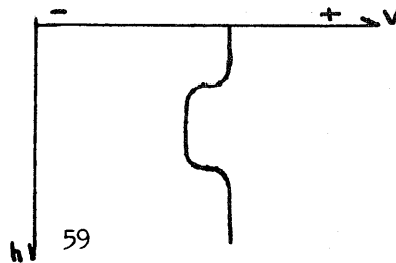
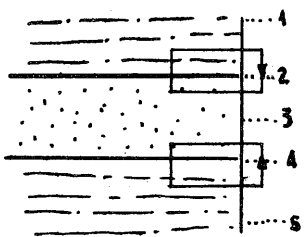
$$-\frac{dV}{dh} = \frac{\rho_m}{A} I \dots \dots \dots (3)$$

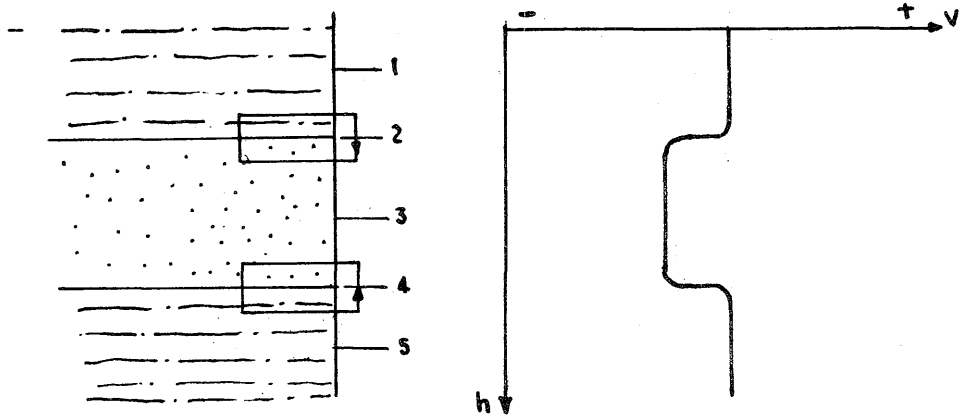


$$\tan \theta = \frac{dV}{dh} \quad , \quad \tan \theta_1 = - \frac{dV}{dh}$$

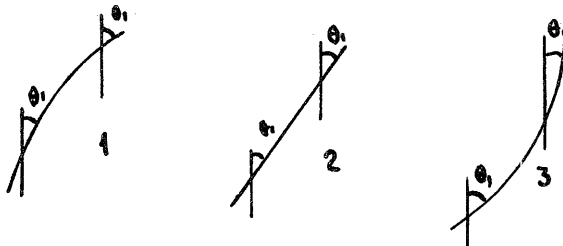
$$\tan \theta_1 = \frac{\rho_m}{A} I$$

Por medio de esta ecuación se analiza la curva de potencial natural frente a las lutitas y arenas. Consideraremos el siguiente ejemplo:



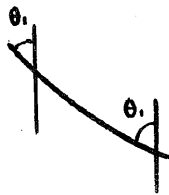


De 1 a 2 se avanza en sentido de la corriente y por lo tanto el potencial disminuye, la curva se correrá a la izquierda aumentando el ángulo θ_1 según la curva 3.



En el punto 2 el ángulo θ_1 disminuye por lo que será un punto de inflexión.

En el punto 3 no hay corriente $\theta_1 = 0$ la tangente es vertical. Del punto 3 al 4 el potencial aumenta ya que se va en el sentido contrario a la corriente, al aumentar la corriente el ángulo θ_1 , también aumenta por lo que será de la siguiente forma:



En el punto 4 el ángulo θ , empieza a disminuir, y seguirá disminuyendo hasta hacerse 0 en la zona de la lutita_ donde ya no circula corriente en el agujero.

CURVAS DE RESISTIVIDAD.

En los registros eléctricos se mide la resistividad de las formaciones por medio de varios cables aislados eléctricamente, cada cable lleva en su extremo un electrodo, uno de estos electrodos sirve para la transmisión de la corriente a tierra y los demás para medir las diferencias de potencial entre 2 ó más lugares causadas por el paso de la corriente a través de las formaciones.

A uno de los polos de la fuente de energía eléctrica, va conectado un cable que lleva el electrodo inferior, es decir, el que alcanza mayor profundidad. Para medir la diferencia de potencial entre los 2 electrodos, los cables se conectan a varios instrumentos registradores en la superficie, el registro de la resistividad se hace automáticamente sobre una película sensible.

La resistencia es una propiedad extensiva (depende de la cantidad de masa) y como se va a tratar con rocas, se debe usar otro concepto en el que no intervengan la cantidad de masa, este otro concepto es la resistividad. La resistencia y resistividad en un conductor eléctrico están ligadas -- por la siguiente ecuación:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

donde:

- R: Resistencia del conductor
- ρ : Resistividad del material conductor
- L: Longitud del material conductor
- A Area de la sección recta del mismo.

$$\rho = R \frac{L}{A} \left[\frac{\text{Ohm M}^2}{\text{M}} \right]$$

Las formaciones varían su resistividad según su composición y contenido de minerales, pero también las características físicas de la formación y los fluidos que contienen influyen marcadamente en la resistividad.

Las lutitas y arcillas que no son permeables, pueden contener numerosos espacios intersticiales pequeños llenos de agua absorbida o innata, en formaciones permeables como arenas y calizas porosas, el contenido de agua depende de la presencia de petróleo o gas y en las rocas muy densas como mármol, yeso, anhidrita, es muy bajo ya que no presentan espacios intersticiales. Como estas no tienen agua, son malos conductores de la electricidad y por lo tanto tienen resistividad muy alta.

La resistividad eléctrica depende del contenido de agua y de la concentración de la misma, además de agua, los -

espacios intesticiales pueden llenarse de aceite o gas y puesto que los hidrocarburos no son electrolitos, es decir, son malos conductores de la electricidad, las formaciones que los contengan serán caracterizados por una resistividad relativamente alta.

En un registro eléctrico se toman 3 medidas de resistividad haciendo para ello los arreglos de los electrodos en la sonda.

Las curvas registradas, son las siguientes:

NORMAL CORTA.- Que es la de menor penetración, pues la distancia entre los electrodos es de 0.40 M, ésta sirve para analizar la zona próxima a la pared del agujero.

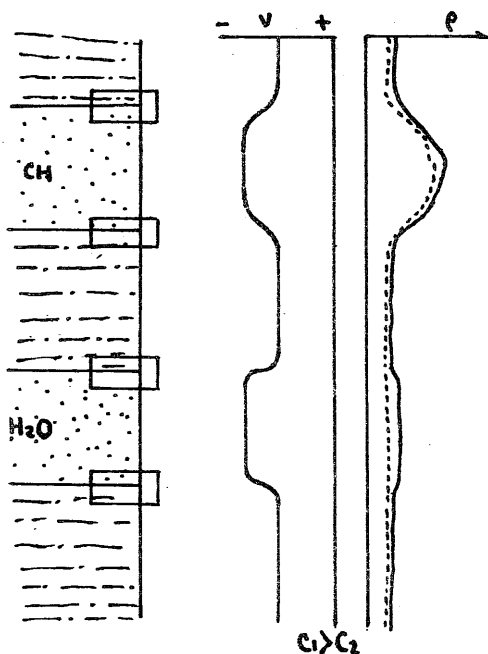
NORMAL LARGA.- Que tiene una penetración mayor que la anterior, la distancia entre los electrodos es de 1.60 M, con esta curva se definen las zonas de saturación y las zonas invadidas de agua salada.

LA LATERAL O INVERSA.- Que tiene una distancia entre electrodos de 5.7 M y 7.2 M, es la de mayor penetración y con la curva registrada se pueden conocer las zonas porosas con impregnación de aceite así como las zonas densas.

De todas estas curvas se obtienen datos numéricos de las resistividades de las formaciones que sirven para calcular porosidades y saturaciones, también se pueden estimar reservas y calcular el índice de productividad de algún desarrollo arenoso.

La curva llamada amplificada es la normal corta registrada con otra escala menor con la que se obtienen datos más exactos que con la normal corta, debido a que esta se toma con una escala mayor.

c).- Arena y lutita con aceite y agua salada, con lodo bentonítico.



Como puede notarse, en la arena con hidrocarburos debido a su alta resistividad, las líneas de corriente se dispersan más al entrar a la arena, teniendo un cambio más lento de la densidad de corriente, resultado la curva en el registro más redondeada que en el caso

de la arena con agua salada en el cual sucede todo lo contrario, es decir, las líneas de corriente se cierran rápidamente al entrar a la arena debido a su baja resistividad, resultando la curva de forma más cuadrada.

Se supone que la concentración del lodo es menor -- que la del agua intersticial.

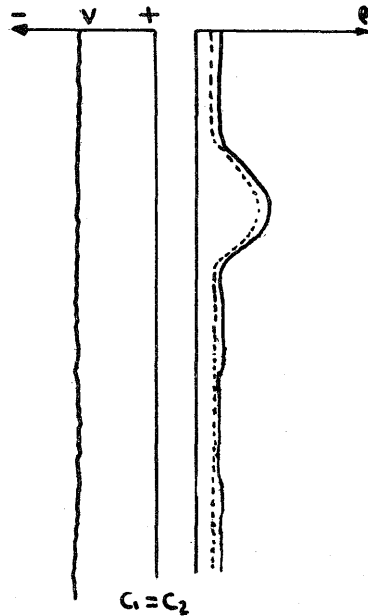
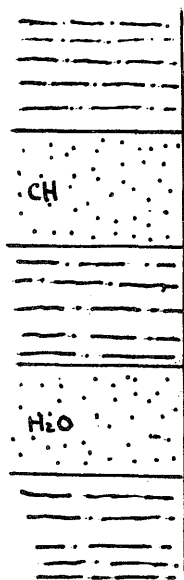
d).- Arena y lutita con aceite y agua salada, con lodo salado.

Cuando se perfora con lodo salado, se pueden presentar dos casos:

- 1.- Que la concentración del agua intersticial sea igual a la concentración del lodo usado.
- 2.- Que la concentración del lodo sea mayor - que la concentración del agua intersticial.

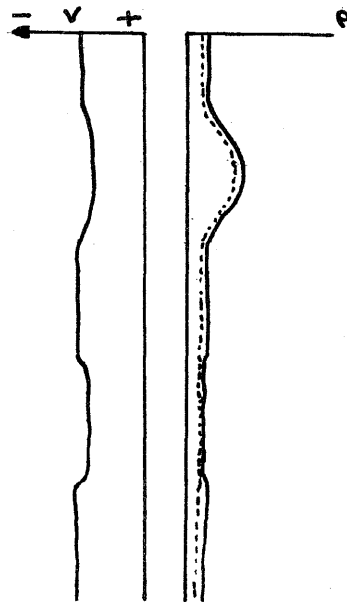
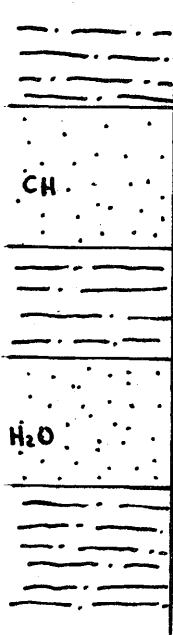
Estudiaremos por separado cada uno de estos casos - ilustrándolos con un ejemplo diagramático.

PRIMER CASO.- En éste, debido a que las concentraciones son -



iguales, no hay flujo de iones Cl^- que originen alguna fuerza electromotriz entre las formaciones y el lodo, por lo que la curva del potencial natural aparece registrado como una sola línea vertical, lo que dificulta distinguir

los cuerpos de arena y lutita.



Respecto a las curvas de resistividad, este régimen no influye, puesto que las zonas invadidas de agua salada están caracterizadas por baja resistividad debido a que son buenos electrolitos, no así las zonas saturadas de aceite o gas que se

registran con alta resistividad como en el caso de usarse lodo bentonítico.

SEGUNDO CASO.- En este caso si hay fuerzas electromotrices generadas, pero son en sentido contrario que cuando se generan al usarse lodo bentonítico, por esta razón es que los potenciales se invierten, es decir, las arenas aparecen como lutitas y viceversa, pero esta inversión no es tan marcada, así que en la curva de potencial natural se encontrarán puntos de inflexión pero la curva registrada tenderá a ser una línea --recta vertical.

Este efecto como el anterior, hace que se enmasca--ren las arenas con aceite, de no tener en cuenta esto, se puede pensar que sea una zona impermeable como anhidrita o yeso.

En las curvas de resistividad no se registra ningún cambio debido a este efecto, apareciendo las zonas con hidrocarburos caracterizadas por alta resistividad y las zonas invadidas por baja resistividad, debido a que en éstas, la corriente fluye con facilidad.

En el Registro Microlog, se diferencian mejor las arenas de las lutitas cuando el registro se toma con lodo salado en cualquiera de los dos casos estudiados.

Una de las ventajas que se tienen al tomar registros eléctricos con el lodo salado, es la de que permiten hacer el análisis de arenas "sucias", es decir, con alto porcien_

to de lutitas con más exactitud que registradas estas con lodo bentonítico.

Siempre se debe recomendar tomar la resistividad - del lodo cuando se tomen registros eléctricos, y de ser posible, de una muestra de lodo que sale del pozo cuando se mete la sonda.

2.- REGISTRO CONTINUO DE HIDROCARBUROS.

El objeto de este registro en el Pozo Soledad 101, fué el de probar las posibilidades petrolíferas de los desarrollos arenosos del Mioceno y de la cubierta impermeable del domo salino que en otra zona del area Soledad resultaron productoras de aceite, y que como se sabe, son esta clase de estructuras almacenadoras las que producen en todos los campos de la Cuenca de Salina del Istmo.

En el Pozo Soledad 101 se hizo el registro continuo de Hidrocarburos desde la superficie hasta la profundidad de 123 M.

El análisis de las muestras de lodo y recortes se hicieron metro a metro, no encontrando ninguna manifestación de importancia que ameritara hacer pruebas de formación.

Toda la litología estuvo caracterizada por arcilla de grano grueso y arena de grano medio a grueso con un alto porcentaje de lutita gris verdoso y verde olivo compacta y muy dura en partes y como se dijo ya sin manifestaciones de hidrocarburos, lo que no presento perspectivas para ésta clase de explotación.

La única manifestación de gas en el lodo se presentó cuando se perforó una capa de arenisca de 3 M de espesor a los 80 M, lo que dió una débil lectura de gas. Observada la muestra al microscopio, se encontró una arenisca con trazas -

de aceite residual, y bastante cementada, de lo que se deduce que no tiene una porosidad suficiente para almacenar hidrocarburos en mayor cantidad.

Vista al fluroscopio la misma muestra, se notó una débil fluorescencia amarillo oro, debida a residuos de aceite oxidado posiblemente por la presencia de agua salada.

Durante la perforación de la cubierta impermeable - del domo salino, se cortaron núcleos de anhidrita y lutita - muy fracturadas con sal cristalizada, pero sin manifestación de hidrocarburos.

De lo brevemente expuesto referente al análisis del registro de hidrocarburos, se considera que éste no es aplicable en las futuras perforaciones del Area Soledad desde el -- punto de vista de exploración petrolífera.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1.- Development oil field. Ch. Oren
- 2.- Lodos de perforación. Ing. R. Velasco
- 3.- Catálogos de Baroid Sales Division
- 4.- Composition and properties of Oil Well drilling fluids. W. Rogers.
- 5.- Reportes de lodos. Departamento Perforación. Campo Soledad. Pemex.
- 6.- Apuntes de Tecnología del Petróleo. Ing. E. Cervera
- 7.- Catálogos de Reed Bit Co.
- 8.- Catálogos de Hunt oil tool Co.
- 9.- Catálogos de Baker Oil Tool Co.
- 10.- Catálogos de A-1 Bit Co.
- 11.- Apuntes de Registros Eléctricos. J. Hefferan
- 12.- Registro de Rotary Engineering Co. Campo Soledad, Ver.