

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE PETROLEO**

**ESTUDIO TEORICO DE LAS OPERACIONES  
DE CEMENTACION DE POZOS**

**Proyecto de Grado**  
**para optar el Título de**  
**BACBIBER EN INGENIERIA DE PETROLEO**

**ROLANDO CHAVEZ BAYONA**

**PROMOCION 1957**

**LIMA - PERU**

**1958**

## I.- CEMENTO Y ADITIVOS

CEMENTO.- El cemento es una sustancia compuesta de óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), bióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), y pequeñas cantidades de óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ), óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), y trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ). Estos constituyentes ocurren en las siguientes formas combinadas: Silicato dicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), Silicato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), Aluminato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ), y Tetra aluminoferrita de calcio ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

La manufactura no viene a ser sino la calcinación a fusión incipiente (Rango de  $1,400^\circ\text{C}$  á  $1,600^\circ\text{C}$ ) de una mezcla en proporciones variables de Arcilla y Calcáreos, el producto o Clinker es molido finamente.

Los cambios químicos que ocurren después de que el cemento ha sido mezclado con agua y que son conocidos con el nombre de Fraguado, son muy complejos y hasta cierto punto desconocidos. Algunas autoridades en la materia aseguran que primero ocurre la Hidratación del trialuminato de calcio y quizá algo de Alumina que posteriormente cristalizan. Dentro de las 24 horas, el trisilicato de calcio comienza a hidratarse, cristalizando su calcita. La hidratación de los silicatos no se completa de ordinario antes de 28 días. Parece que la temprana cristalización y consolidación se deba a la hidratación del trialuminato de calcio y parte del trisilicato de calcio. El

aumento de resistencia del cemento se debe a la hidratación continuada.

Durante el proceso de hidratación, se nota tres estados:

a) Fraguado Inicial.- Cuando pierde su plasticidad de tal manera que si separamos dos partes y la volvemos a juntar ya no forman una masa homogénea.

b) Fraguado Final.- Es un grado de rigidez determinado por la resistencia a la introducción de un Punzón Standard. Generalmente se alcanza de 2 a 5 horas después del Fraguado Inicial.

c) Período de Endurecimiento.- Es un reajuste químico final que dura de 10 a 28 días más y produce mayor resistencia y dureza. Este período es más importante en petróleo.

PROPIEDADES MAS IMPORTANTES DEL CEMENTO PARA POZOS PETROLIFEROS.- Las propiedades que a continuación enumero son susceptibles de ser modificadas, añadiendo aditivos a la lechada de cemento puro (mezcla de solamente agua y cemento) en proporciones deseadas, para hacerlo apto a ser aplicado con éxito en los diversos trabajos que se presenten de acuerdo a las condiciones específicas del pozo.

1.- El tiempo de espesamiento debe ser suficientemente largo para dar tiempo a terminar la operación de Cementación. Esta cualidad a significado la propiedad más importante en el cemento por ser el índice de la capacidad relativa para su bombeo.

2.- El tiempo para fraguar debe ser razonable, pues no se va a esperar varios días. Actualmente por medio de Aditivos basta 24 horas, y aún menos en pozos menos profundos.

3.- Debe tener la suficiente resistencia para permitir reanudar las operaciones de cementación sin cuartearse ni salirse fuera de su sitio. Aproximadamente 500 psi. de esfuerzo de compresión como lo prueba la API debe ser considerada la resistencia mínima requerida.

4.- Resistencia a la corrosión.

5.- Resistencia a la acción del agua sobre todo a las sulfatadas.

6.- Debe dejarse punzonar fácilmente.- Cuanto mayor es la resistencia, mayor es la fracturación y requiebramiento cuando es perforado a bala o a chorro.

7.- Características de la lechada.- Dos son los factores más importantes de la mezcla cemento-agua.

- La Viscosidad

- La posición de las partículas sólidas en la mezcla.

Estos factores pueden ser controlados de la siguiente manera: a) no usando menor cantidad de agua que la que le dará un fácil bombeo de la lechada dentro del pozo; y b) no excediendo esa cantidad de agua que sostendrá todas las partículas en suspensión.

FACTORES QUE INFLUENCIAN AL CEMENTO.- Los factores que influyen al cemento son:

a) Los constituyentes químicos del cemento en el tiempo de fraguado.- Los que más influyen son el óxido de hierro y la alúmina, cuanto más haya de estos productos tanto más rápido será el fraguado. Gran cantidad de silicatos lo demora. También influyen el trialuminato y tetra-aluminato de calcio.

b) Las aguas salinas en el tiempo de fraguado.- En casos extremos el cemento puede llegar a no fraguar, ya que pequeñas cantidades de agua salada tienen gran influencia.

c) Las aguas sulfatadas sobre la solidez del cemento.- En especial las sales alcalinas, además de influenciar el fraguado, causan la desintegración del cemento.

d) La contaminación con el barro en el fraguado y resistencia del cemento.- El mezclarse con el barro puede reducir seriamente la resistencia del cemento.

e) El Petróleo y Gas.- El petróleo no impide el fraguado, pero lo retarda, pudiendo también impedir la adherencia al casing. El gas origina la formación de poros en el cemento que después se convierte en canales por donde se filtrará el agua.

f) La temperatura en el fraguado.- Algunos cementos fraguan a 150°F en la tercera parte del tiempo que lo ha-

rían a 60°F. Esto es peligroso en pozos profundos y hay que usar retardadores.

g) El calor de hidratación del cemento.- La reacción química del agua con los constituyentes del cemento desarrolla una considerable cantidad de calor. Esta varía de 60 a 110 calorías por gramo y puede afectar las formaciones.

h) La presión en la resistencia y tiempo de fraguado.- La presión que puede ser de varios miles de psi. en pozos profundos, acelera el tiempo de fraguado. También origina un aumento en la resistencia a la compresión en un 30%.

i) La permeabilidad de los tapones de cemento bajo condiciones de pozos profundos.- El cemento se usa sobre todo como un medio de excluir el agua; para esto, los tapones de cemento resultante deben ser densos e impermeables. La permeabilidad disminuye cuanto más fino es el grano y aumenta cuanto más agua se usa.

Pruebas actuales, indican permeabilidades de menos de 1 milidarcy; gran relación de agua en el mezclado puede aumentar la permeabilidad hasta 20 Milidarcys.

j) La pérdida de agua hacia la formación en las propiedades generales.- Bajo altas presiones existentes en pozos profundos, el agua del cemento puede filtrarse antes del fraguado hacia las formaciones más permeables tales como arena, areniscas y calizas, y menos en arcillas y pizarras, que son menos permeables.

k) La edad y condiciones de almacenamiento en el tiempo de fraguado.- El cemento en almacén sufre ciertos cambios químicos en su composición lo que altera sus propiedades. Esto se debe a la hidrolización de la calcita al contacto con la atmósfera.

Estos cambios prolongan el tiempo necesario para fraguar, debe pues almacenarse en lugares secos y reducir el tiempo de almacenaje.

TIPOS DE CEMENTO USADOS EN PETROLEO.- Se usan diferentes variedades de Portland, su elección depende de las características del pozo y del carácter del uso a que se destinan.

Según algunas autoridades, los cementos usados en petróleo se clasifican en 4 grupos, salvo casos excepcionales; sin embargo, un cemento clasificado en alguno de estos grupos puede ser alterado por los aditivos. Estos 4 grupos son:

1.- Cementos de Alta Fuerza Temprana.- No necesariamente resistentes a los sulfatos, pero sin embargo resisten bastante. Se usa para condiciones ligeras de los pozos, tales como cementación de casing de superficie y para la plataforma. El tiempo de espesamiento es de más o menos 1 hora. Tiene un alto contenido de Trisilicato de calcio (60 á 70 %) y su grano es muy fino. Mezclas de 40 % de este cemento pueden desarrollar resistencias a la tensión de 500 á 700 psi. después de 3 días a 150°F, o resistencias a la compresión de 10 veces esta cantidad.

2.- Cementos Standard para Construcción.- Aptos para soportar condiciones menos rígidas que los otros tipos. Tiempo de espesamiento de 1 hora 20 min. a 2 horas 30 min. Generalmente tienen alto porcentaje de trialuminato de calcio que los hacen vulnerables a la desintegración por la acción de las aguas sulfatadas. Su textura es media. Son capaces de desarrollar resistencias a la tensión de 500 a 800 psi. en mezclas al 40% mantenidas a 150°F. durante 3 días.

3.- Cementos para pozos petrolíferos.- Tiempo de espesamiento aproximadamente 1 hora 40 min. a 2 horas 20 min. Se usa en cementaciones muy profundas bajo altas temperaturas. Su porcentaje de Trialuminato de Calcio es más bajo que lo normal, siendo algo más alto el de Trialumino-Ferrita de Calcio. Son usualmente resistentes a los sulfatos. Grano grueso comparado con otro cemento. Mezclas de 40% desarrollan resistencias a la tensión de 400 á 650 psi. después de 3 días a 150°F.

4.- Cementos para altas temperaturas o Cementos Retardados.- Se usan en grandes profundidades bajo muy altas condiciones de presión y temperatura, o cuando van a ser usadas grandes cantidades de cemento. Tiene un tiempo de espesamiento de 2 Horas 20 min. a 4 horas, además es resistente a los sulfatos. Es de grano grueso y con poco Trialuminato de Calcio, además, se les puede añadir un retardador para aumentar el tiempo. La resistencia a la tensión de una mezcla de

40% es generalmente de menos de 500 psi. después de 3 días a 150°F.

Según la API los cementos usados en petróleo se clasifican en 6 tipos:

Clase A.- Para ser usados en pozos de no más de 6,000 pies de profundidad, y que no requieren propiedades especiales.

Clase B.- Para pozos cuya profundidad sea alrededor de los 6,000 pies posee una mayor resistencia a la acción de las aguas sulfatadas.

Clase C.- También para pozos de profundidad alrededor de los 6,000 pies posee una mayor resistencia que los anteriores.

Clase D.- Para pozos cuyas profundidades sean alrededor de los 12,000 pies con temperaturas y presiones moderadas.

Clase E.- Para pozos de profundidad alrededor de 14,000 pies con grandes presiones y temperaturas.

Clase F.- Para profundidades más allá de los 16,000 pies y por tanto de presiones y temperaturas sumamente elevadas.

#### ADITIVOS DEL CEMENTO

Se les puede dividir en 6 clases, según los usos a que están destinados. Las compañías utilizan los productos químicos que tienen éstas propiedades y los expenden bajo diver-

esos nombres.

### 1.- ACELERADORES

a.- Cloruro de Calcio.- Se usa en proporciones de 2% en peso. Acelera el tiempo de espesamiento y fraguado y aumenta la resistencia. Se usa en todas las cementaciones no muy profundas.

b.- Cloruro de Sodio.- Cuando no se tiene cloruro de calcio a la mano se puede usar agua salada con concentración de 60,000 ppm. (la concentración normal del cloruro de sodio en el agua del mar es de 15 á 30,000 ppm, luego se le debe añadir cloruro de sodio).

### 2.- RETARDADORES O DISPERSANTES.-

a.- Lignosulfato de Calcio.- Retarda el tiempo de espesamiento y fraguado, se usa en la cementación de pozos relativamente profundos.

b.- Tanato de Sodio.- Se debe usar muy cuidadosamente.

c.- Howcogel.- Para ser usado con cemento gel en la proporción de 8 á 14% por cada saco de cemento. Con esto se obtiene un cemento más suave y mezclas más flúidas.

d.- HR-4.- Es un aditivo químico, actúa como retardador y se usa en pozos en que se espera temperaturas muy elevadas.

### 3.- DISMINUIDORES DE PESO

a.- Bentonita.- La adición de bentonita a la mezcla cemento-agua está siendo usada frecuentemente en mayores proporciones que los otros aditivos. La Bentonita a Gel es una arcilla especial de silicato de aluminio y sodio; el cual tiene la particularidad de mantener las partículas en suspensión, y la capacidad de absorber muchas veces su propio peso de agua y hincharse muchas veces su propio volumen en estado seco. Estas características de absorción e hinchamiento hace que se obtengan muchas ventajas cuando se usa adicionándole al cemento, especialmente en la tubería de revestimiento. Estas ventajas son:

- Baja peso a la mezcla
- Aumenta el volumen de la mezcla por saco de cemento.
- Baja el costo de la unidad de mezcla.
- Mejores características para la perforación a bala.

Sobre el uso de este aditivo se han hecho muchos estudios, actualmente se está tratando de encontrar la proporción límite en que pueden ser usados. Entre los estudios hechos al respecto cabe mencionar:

- Relación cemento-agua 'máxima y mínima. Cuadro N°1.
- Peso de la mezcla cemento-agua-bentonita. Cuadro N° 1.

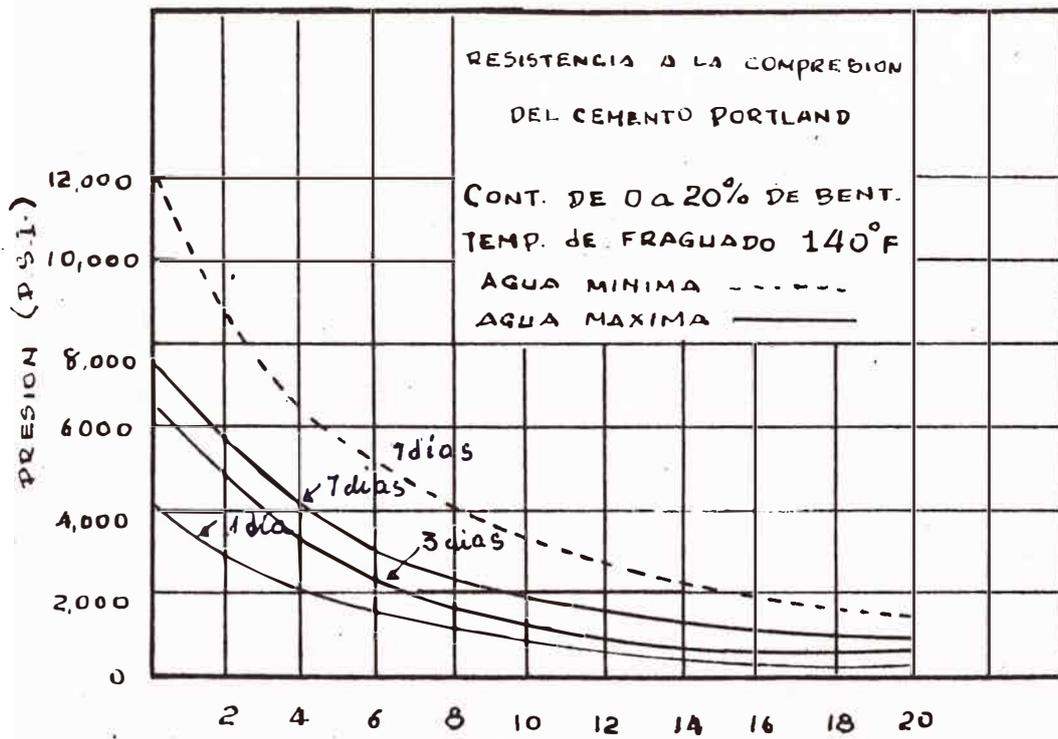
## PROPIEDADES DEL GEL CEMENTO

### MAXIMA RELACION DE AGUA-CEMENTO (PORTLAND) PARA VARIOS PORCENTAJES DE BENTONITA

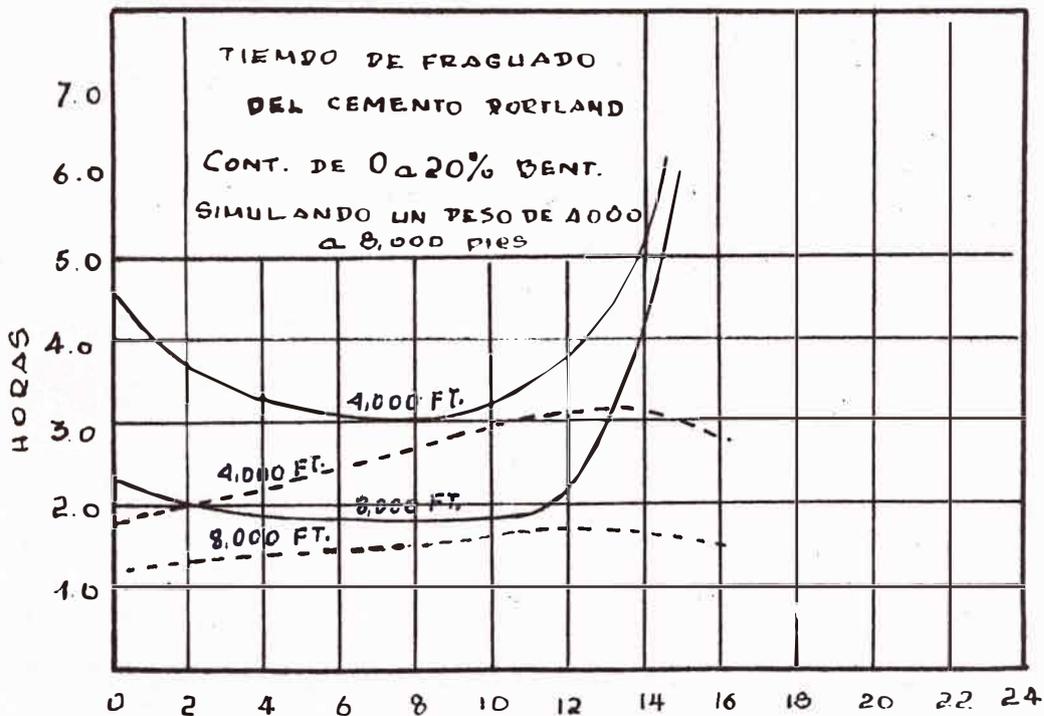
POR CIENTO DE BENTONITA	GALONES DE AGUA POR SACO	PESO LIBRAS POR GALON	VOLUMEN DE PIES CUB. POR SACO
0	5.5	15.40	1.22
2	6.5	14.70	1.36
4	7.7	14.10	1.53
6	8.8	13.65	1.69
8	9.7	13.30	1.82
10	11.1	12.98	2.02
12	12.3	12.60	2.19
14	13.8	12.25	2.40
16	15.2	12.00	2.60
18	16.6	11.80	2.80
20	18.2	11.60	3.03

### MINIMA RELACION DE AGUA-CEMENTO (PORTLAND) PARA VARIOS PORCENTAJES DE BENTONITA

POR CIENTO DE BENTONITA	GALONES DE AGUA POR SACO	PESO LIBRAS POR GALON	VOLUMEN DE PIES CUB. POR SACO
0	3.9	16.85	1.00
2	6.05	15.90	1.17
4	5.95	15.15	1.30
6	6.55	14.75	1.40
8	7.30	14.35	1.51
10	8.50	13.80	1.67
12	9.75	13.35	1.85
14	10.05	13.25	1.91
16	11.10	13.00	2.06
18	11.60	12.90	2.14
20	12.10	12.80	2.21



DORCENTAJE DE BENTONITA POR PESO DE CONT.  
FIGURA N° 1



DORCENTAJE DE BENTONITA POR PESO DE CEMENTO  
FIGURA N° 2

- Resistencia a la compresión. Fig. N°1.

- Tiempo de espesamiento. Fig. N° 2.

b.- Pozzolan.- Es un material silicoso, que puede ser usado tanto natural como artificial, procesado o no. El natural en su mayor parte es de origen volcánico, pero incluye ciertas tierras diatomeas. El artificial es un producto obtenido de tratar al calor las arcillas y pizarras y ciertas rocas silicosas. Resiste a la oxidación y más fácilmente atravesable en el baleo.

c.- Perlites.- Se le añade al cemento con Howcogel en la proporción de 2 á 6 %. Disminuye el peso de la columna de cemento, y aumenta el volumen de cemento por saco de mezcla. Es un material granular que se pulverisa cuando se le quiere dar este uso.

#### 4.- AUMENTADORES DE PESO

a.- Baritina o Sulfato de Bario.

b.- También se puede usar diversos óxidos y compuestos ferrofosforosos, tales como Fosfuro de fierro, Óxido de fierro, etc.

#### 5.- CONTRA LA PERDIDA DE CIRCULACION

a.- Material Fibroso.- Tal como micas, celofán; pero también se usa todo lo que se le ocurra al perforador en casos de urgencia, así: Frijoles, cáscara de nuez, pepas de algodón, etc.

b.- Perlites.- Por ser un material granular, también se le reconoce éstas propiedades.

c.- Flocele.- Son trozos de  $5/8$  de pulg. cuadrada de celulosa, muy delgados pero muy duros. Se usa en la proporción de  $1/4$  á 2 lbs. por saco de cemento. Generalmente es usado con el cemento gel.

d.- Tul-Plug.- Es un material granular de alta resistencia que se usa de aditivo con Howcogel para evitar o restaurar las pérdidas de circulación o para remediar dificultades en la cementación forzada. Se mezcla en la proporción de 2 á 8 lbs. por saco de cemento que contenga no menos de Howcogel.

## 6.- CEMENTOS ESPECIALES

a.- Gel Cement.- Para algunos propósitos, tales como sellar fisuras, o rajaduras que a veces se encuentran en la perforación o restaurar las pérdidas de circulación en formaciones cavernosas, bentonita de grano fino (Acuagel) se puede añadir al cemento Portland. Las cantidades varían de  $1/2$  a 2 lbs. por saco de cemento para mezclas de 40 á 70 %, ésta le confiere propiedades tixotrópicas y tiende a mantener las partículas de cemento en suspensión en grandes proporciones de agua en la mezcla; la presencia de hasta 3 lbs. de bentonita por saco de cemento no influencia casi la resistencia o permeabilidad del cemento fraguado. Si el esfuerzo de compresión del Cemento no es considerado como de especial importancia, tanto

como 20% de bentonita puede ser usado. El tiempo de espesamiento es escasamente afectado; el cemento asentado tiene baja permeabilidad y puede ofrecer menor resistencia a la perforación a bala.

b.- **Cemento fibroso.**- En la cementación de formaciones muy permeables y cavernosas o con fisuras, que tienden a absorber la mezcla e impedir la formación de tapones de cemento de longitud deseada, se puede añadir material fibroso, tanto al cemento seco como a la mezcla.

c.- **Cemento soluble en ácido.**- El cemento Portland es sólo parcialmente soluble en ácido clorhídrico, pues una capa impermeable de Gel de sílice, se coloca rápidamente en la superficie de cemento y lo protege. La adición de 40 á 45 % de carbonato de calcio muy fino y muy mezclado (calizas) hace que cualquier cemento sea soluble en un 15% de este ácido, quedando sólo un fino residuo después de 10 min. Este tipo de cemento es muy usado en la cementación forzada y también con este cemento se puede construir un puente temporal y luego quitarlo.

d.- **Mezcla de arena con cemento.**- Se puede usar en desviación y enderezamiento de pozos en proporción de 1/3 de arena en la mezcla. Se prefiere arena gruesa (mallas-20 á + 30).

e.- **Cemento radioactivo.**- Se usa para determinar la altura a la que subirá el cemento por encima del zapato, ya

que no se puede determinar por la desigualdad del diámetro del pozo y por la pérdida del fluido. Esto se consigue mezclando material Carnotita de grano fino con la primera parte del cemento hombeado en el pozo. Un perfilaje de rayos Gama nos mostrará después con toda claridad la posición del material radioactivo mediante un brusco cambio en la curva. En algunos pozos se han mezclado 25 lbs. de Carnotita conteniendo 10% de óxido de Uranio.

f.- Cemento Gypsum.- El Gypsum es en parte sulfato de calcio hidratado. Al fraguar toma agua para formar  $\text{Ca.SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Fragua en contacto con petróleos y agua, es menos afectado por la temperatura o por la continua agitación. Desarrolla una resistencia a la compresión bastante alta, se usa para formar puentes, evitar pérdidas de circulación y otros usos donde se requieren grandes cantidades de material.

g.- Cemento de alto contenido de Aluminio.- Se fabrica calcinando una mezcla de Calcita y Bauxita. El tiempo de fraguado es más o menos el mismo que el Portland; pero después desarrolla resistencia mucho más rápido, después de 2 1/2 horas es tan fuerte como el cemento Portland corriente después de 28 días.

h.- Cemento con alto contenido de Hierro.- Este cemento es preparado como el Portland, pero usando Hematita en lugar de arcilla o pizarra. Es muy resistente a los efectos corrosivos de las aguas salinas.

i.- **Cemento Pozmix.-** Se hace mezclando Pozzolan con cemento Portland. Resiste las aguas sulfatadas, también resiste a la corrosión. Tiene poca resistencia final por lo que permite el baleo, pero luego aumenta gradualmente.

j.- **Cemento con Diesel.- (DOC).-** Compuesto de cemento portland, Diesel y un aditivo DOC-1. Produce un cemento de alta densidad, alta resistencia a la compresión y muy baja permeabilidad.

k.- **Cemento de Resina.-** Se produce mezclando resina, agua y cemento Portland, se recomienda para cementación a husco abierto, cementación forzada a través de perforaciones, y para cementación de casing. No es atacado por el crudo, barro o gases corrosivos.

## II.- EQUIPO DE CEMENTACION

Para un mejor estudio y siguiendo la delineación del curso la vamos a dividir en:

- Equipo Superficial
- Equipo Sub-superficial.

### EQUIPO SUPERFICIAL

BOMBAS.- Los fabricantes de la Howco construyen dos tipos de bombas: las movidas por motor son montadas sobre un potente camión y arregladas de tal manera que una de las bombas opera con el motor del camión y la otra por un motor auxiliar dispuesto en el mismo chasis; se conocen cuatro tipos de unidades de cementación a motor que pueden resolver todos los problemas de cementación, estos tipos son:

- La unidad Twin T-10 Cementing Trailer
- La unidad Twin T-10 "Loboy"
- La unidad Howco T-10-AC
- La unidad Howco VP-AC

Entre las bombas movidas a vapor tenemos: la unidad Howco S-10 que es equipado con cuatro bombas a vapor, congtruidas especialmente para toda clase de operaciones.

MEZCLADORAS.- El equipo de la Halliburton que ha revolucionado la cementación de pozos, fabrica el tipo Jet Mixer, que es una unidad compacta, pesa alrededor de 200 libras; cong

siste de un embudo, una taza para la mezcla, la línea de descarga, un tubo colector y las líneas de agua. La unidad funciona forzando una corriente de agua a través de un chorro, la línea de descarga entra a la taza, luego al tubo sumidero, de donde la mezcla es succionada por las bombas. La corriente de agua pasando a través de la taza crea un vacío el cual jala el cemento y como ésta entra en la corriente de agua, es mezclada en el flujo turbulento que ocurre antes de la descarga.

La alimentación de cemento se hace mediante el uso de cilindros rotativos montados sobre un camión; esto es recomendable, pues la uniforme descarga mecánica que efectúa en el embudo, hace que con el agua forme una mezcla homogénea y flexible en cuanto a la densidad que quiera dársele por simple graduación del flujo de agua, la importancia radica también en el hecho de evitar intrusión de aire en el cemento al mantener el embudo lleno durante todo el tiempo que demore la cementación. La alimentación del embudo a "mano" tiene la desventaja de provocar el efecto contrario y usualmente el operador de la bomba de cemento detiene la operación por este último motivo; la repetición de estas paradas puede dar lugar a que la cementación demore un tiempo mayor, igual a ligeramente menor al de espesamiento, lo que por seguridad no es deseable en ningún caso. El aire intruido disminuye la densidad al cemento dando lugar a formación de zonas de cemento débil que motivan el fracaso de la completación del pozo.

**PORTA-TAPONES.**- Va conectado a la tubería de revestimiento en la boca del pozo, se utiliza cuando no se prefiere abrir el extremo superior de la tubería revestidora para introducir tapones cementadores. Mediante las válvulas del múltiple tubular, se puede establecer circulación antes de cementar.

### EQUIPO SUB-SUPERFICIAL

**TAPONES.**- Los que más se usan llevan 5 limpia-tubos de caucho (goma) alrededor de un núcleo de plástico de caucho duro.

Estos tapones son de fondo y tope, los de fondo más usados son los 5-WB (five Wiper botton). Sirven para reducir la contaminación de cemento con lodo en la superficie, delante del cemento se bombea el tapón. Este se suelta a su debido tiempo del porta-tapones situada al extremo superior de la revestidora para que baje por ella. Cuando llega al collar flotante, la diferencia de presiones rompe el diafragma de goma y entonces la lechada sigue bajando a través del tapón, para subir por el espacio anular.

Los tapones de tope mayormente usados son los 5-WT (five Wiper top), este tapón es sólido y su construcción tal, que cuando después de soltado del portatapones entre el cemento y el lodo alcanza al collar flotador, estanca la corriente de fluido bombeado tubería abajo.

**RASPADORES.**- Como es sabido los lodos de perfora-

ción, dan lugar a la formación de una capa en las paredes del pozo cuyo espesor es proporcional, en muchos casos a la pérdida de agua. Los raspadores rompen y ramueven la costra del lodo y contrarrestan la acción del cemento a encausarse. Hay dos tipos de raspadores: los rotativos y los reciprocantes, un estudio comparativo de estos últimos indica la mayor eficiencia que rinden los reciprocantes. Los raspadores quedan fijos en la tubería mediante puntos de soldadura por encima y por debajo de ellas.

Durante el raspado unos 15 ó 20 pies de carrera del entubado cada 2 ó 3 minutos será suficiente (caso de usar raspadores reciprocantes), más o menos 30 RPM debe de mantenerse al usar el otro tipo.

**CENTRALIZADORES.**— Con fines de conseguir eficiente centrado y fijación del entubado dentro del hueco se usan los centralizadores. Estos harán que el espacio anular sea uniforme y evite zonas delgadas y débiles del mismo.

Para la ubicación de centralizadores y raspadores sobre el zapato siga los diagramas de las figuras 3 y 4. En los siguientes tramos y en toda la tubería por cementar se colocan de la siguiente manera: a) Dos raspadores en cada tramo de 30 pies y un centrador por cada 3 tramos, b) En los de 40 a 45 pies tres raspadores por tramo y un centralizador para cada 3 tramos.

**ZAPATO GUIA.**— Sirve de guía a la tubería revestidora

# UBICACION DE RASCADORES Y CENTRALIZADORES

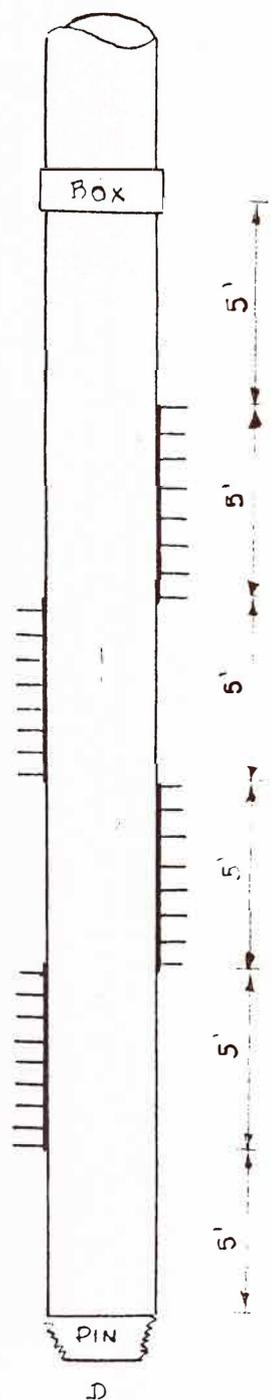
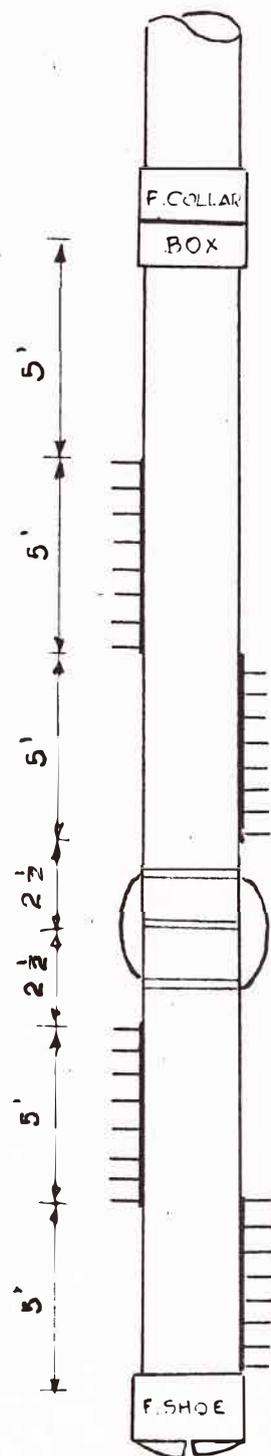
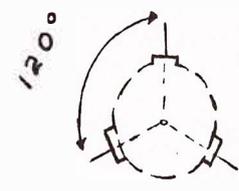
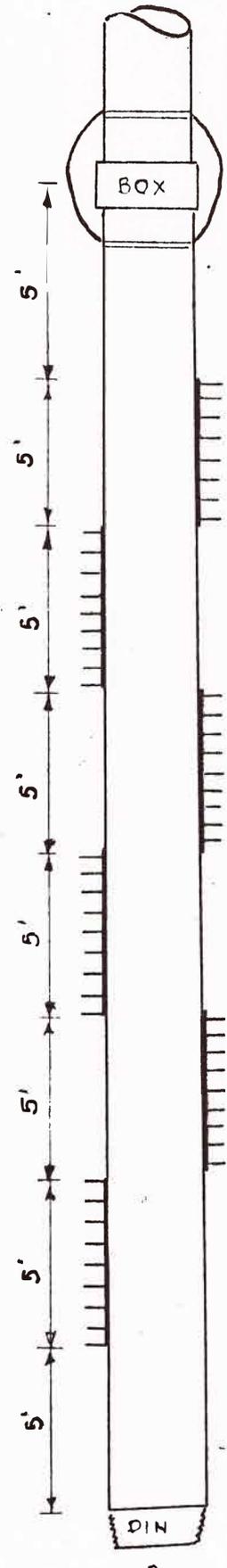
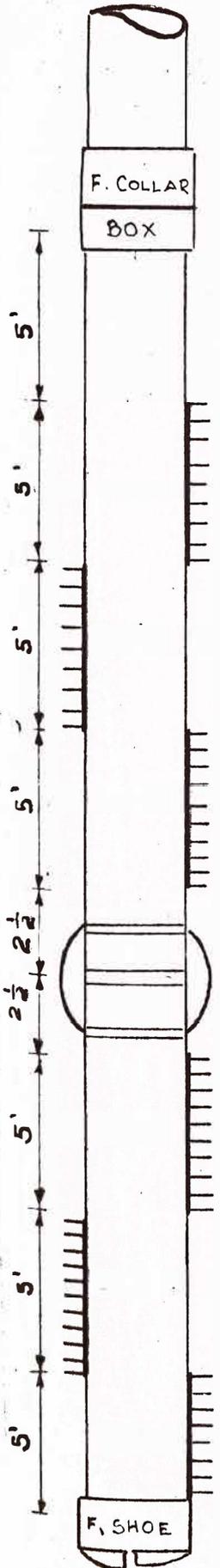
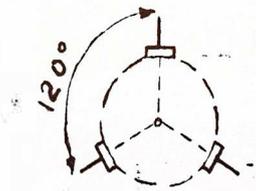


Figura 3

UBICACION DE RASCADORES Y CENTRALIZADORES

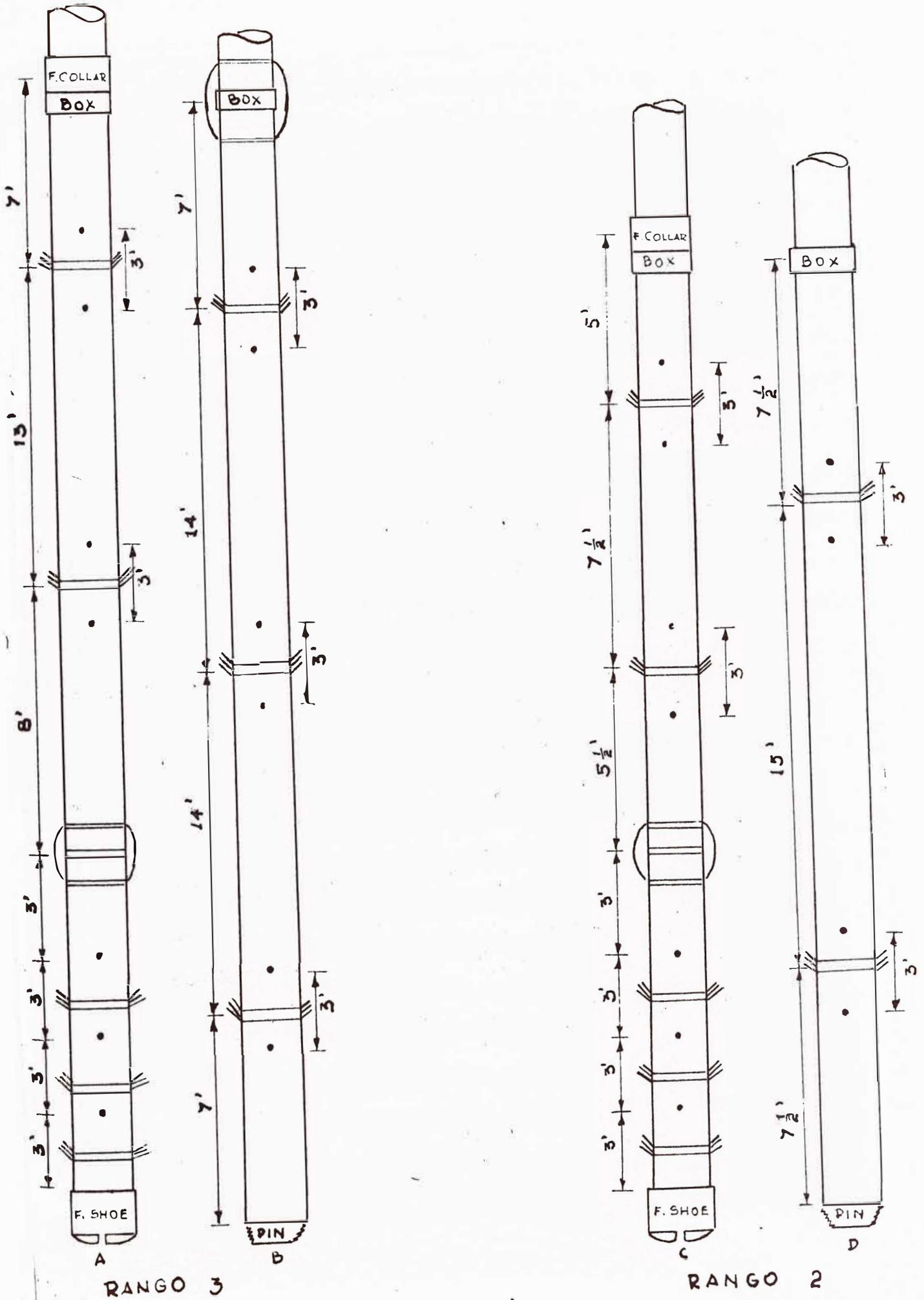


Figura 4

cuando ésta es introducida dentro del hueco. Va soldado a la primera tubería y posee una válvula que permite el flujo en un solo sentido; esto es, del interior de la tubería hacia el espacio anular, ocasionando así el efecto de flotación de la tubería. Está fabricado de un material que permite seguir la perforación sin dificultad.

**COLLAR FLOTADOR.**— Sirve como retenedor de los tapones cuando éstas son impulsadas dentro de la tubería de revestimiento. Generalmente va soldado a la primera tubería en el extremo opuesto al del zapato guía, algunas veces va soldado en la segunda tubería. Posee una válvula que permite el flujo en un solo sentido y puede ser perforado.

**OBTURADORES.**— En la práctica de cementación forzada se emplean los siguientes tipos de obturadores:

- Obturador Recuperable
- Cemento-Hidráulico Recuperable
- Obturador tipo DM & DC

El Obturador Recuperable.— Es el mundialmente aceptado como el que "ahorra tiempo" bajo presiones y condiciones normales. El juego del obturador consta del cuerpo con cuñas hidráulicas, dos copas empaquetadoras y una válvula para la circulación. Resortes de fricción en contacto con la tubería manteniendo abierta la válvula y su manguito tapador de los pasos sobre el mandril de la válvula, con lo que el fluido se equilibra dentro del obturador y éste baja rápidamente por

la tubería revestidora, de perforación o de producción.

Al llegar al punto de instalación, los pasos se cierran levantando un metro o más la sarta de perforación. La presión hidráulica impulsa las cuñas, las que se afianzan en la revestidora mientras las copas se dilatan contra la misma. Al aumentar la presión del fluido en la sarta de perforación, las copas ajustan más herméticamente y las cuñas se afianzan con fuerza tal que permiten aplicar la presión de cementación forzada, por debajo de las copas obturadoras.

La válvula de circulación se abre bajando la sarta cuando haya que desplazar fluido en la tubería de producción o de perforación, al situar cemento, ácido, etc.. Para cerrar la, se levanta la sarta.

Terminada la tarea por la sarta de producción se desfoja presión, la que se pasa al espacio anular para establecer circulación de fluido alrededor del obturador y tubería arriba, con lo que se saca del obturador y de la tubería todo el exceso de cemento.

Basta un viaje al fondo para efectuar una serie de cementaciones forzadas en puntos predeterminados en sucesión rápida; o bien, para probar fugas de la revestidora, Por eso es más económico el obturador rescatable que los perforables. No quiere decir esto que queden eliminados los obturadores perforables o los tapones intermedios provisionales, sino que los rescatables aceleran la tarea de reparación de pozos.

El Cementador Hidráulico Recuperable.— Es usado para operar bajo altas presiones y condiciones difíciles de la cementación, la herramienta es recuperable y opera hidráulicamente.

Obturador Tipo DM & DC.— Son usados para formar un tapón efectivo en la operación de cementación forzada, puede también usarse como tapón puente para evitar movimientos de fluido a través del obturador. Ambos tipos DM y DC son idénticos en construcción pero de diferente material, el DM a base de Mg no es recomendable para un tapón puente permanente y el DC es de acero de alta resistencia y puede ser usado como un tapón puente permanente.

CEMENTADOR MULTIETAPA DV.— Esta herramienta sirve para hacer más de una cementación por fuera de la tubería revestidora, en diferentes partes predeterminadas. Es muy eficaz medio para hacer una buena cementación primaria.

La cementadora por etapas con válvula diferencial, hace uso de un nuevo principio hidráulico al cual se debe en gran parte el éxito de la operación. Dentro de la herramienta hay dos manguitos, el más bajo de los cuales cierra los pasos durante la circulación y paso del cemento para la etapa o sección inferior que se cementa. El manguito (de cierre) tapa los pasos durante la circulación y paso del cemento para la etapa superior. El mismo manguito tapa los pasos después de terminada la cementación superior. Cada herra-

DIAGRAMA FUNCIONAL  
DE LA CANASTA  
DE CEMENTACION

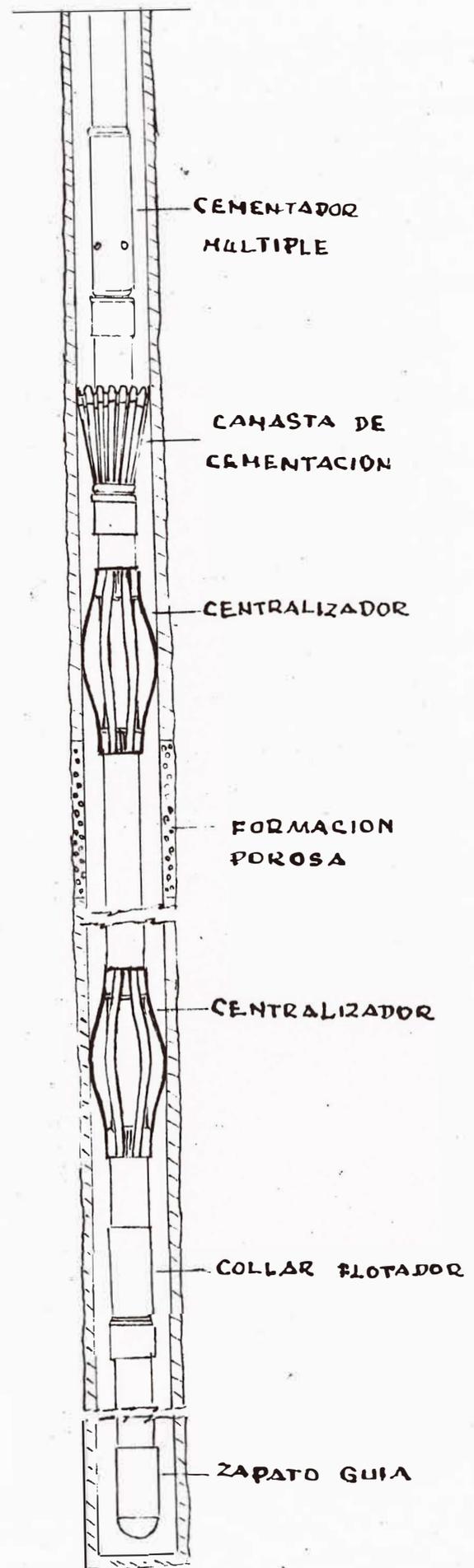


FIGURA 5

mienta tiene, pues, cuatro pasos de descarga de cemento.

**CANASTA DE CEMENTACION.**- Son usados en el casing en puntos donde las formaciones son débiles o porosas y necesitan protección o ayuda para soportar la columna de cemento.

La canasta es hecha de un acero flexible y resistente, va montado sobre un anillo. Su uso trae mejores resultados cuando:

1.- Es usado debajo de la herramienta del Múltiple Cementer ("DV" Múltiple Stage Cementer) para retener cemento y proteger formaciones débiles, para reducir pérdidas de mezcla en formaciones porosas o cavernosas. Ver Fig. 5.

2.- Es usado sobre el liner debajo del Baffle Collar para forzar cemento afuera a través de ventanas, para proteger de la contaminación a las formaciones productoras.

3.- Otras veces son usadas para cementación de casing a través de la unión del zapato para dar extra soporte a la columna de cemento y ayudar la protección de formaciones débiles, fofas y cavernosas.

### III.- CEMENTACION DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

COLUMNAS DE REVESTIMIENTO.- La cementación de las columnas de revestimiento se hacen para llenar ciertos requisitos y para contrarrestar los efectos de ciertas circunstancias peligrosas que suelen presentarse, primeramente mientras se está perforando, y luego durante la vida productiva del pozo, caso de que esté de rendimiento en escala comercial.

FORROS DE SUPERFICIE.- Esta es la primera que se cementsa dentro del hueco, su diámetro será mayor que los demás. La longitud de esta columna varía de una a otra región petrolífera, según lo exijan las condiciones halladas en el subsuelo. Sus principales funciones son:

- La de evitar el derrumbe de las formaciones de escasa profundidad y la de impedir la contaminación de los estratos que contienen agua dulce que quizás pueda ser utilizado para fines domésticos.

- También sirve esta columna de revestimiento como sostén del equipo de boca del pozo, cuya finalidad es la de controlar el pozo durante la perforación de los estratos.

FORROS INTERMEDIOS DE PROTECCION.- Conforme avanza la perforación del pozo, puede suceder, que se encuentre formaciones deleznales, tal vez haya que atravesar estratos cargados de flúidos corrosivos, o las condiciones de presión pueden ser tales que se imponga la necesidad de cementar otra columna de revestimiento que permite avanzar la perfora-

ción.

A veces se dá el caso de la necesidad de tener que utilizar más de una columna de revestimiento intermedia. En muchos casos la primera columna, afianzada a bastante profundidad, sirve de primera o intermedia. La posibilidad de emplear una columna con doble fin, depende principalmente de las condiciones prevalecientes en el subsuelo.

FORROS DE PRODUCCION.- Esta columna tiene por finalidad proteger y conservar intactas las capas petrolíferas adyacentes a la revestidora, también protege la comunicación entre la sección petrolífera y los estratos acuosos yacentes sobre aquella; impide la entrada de gas de alta presión, los que procedentes de otra formación pueden inundar un horizonte petrolífero.

DISEÑO DE LAS COLUMNAS DE REVESTIMIENTO.- El costo del entubado es a menudo el acápite más alto en la perforación de pozos de petróleo y gas y la selección, el diseño, instalación y manipuleo durante la operación constituyen el problema más importante en la perforación de un pozo. Con el objeto de que el entubado pueda satisfacer las funciones descritas anteriormente, la tubería debe tener la resistencia necesaria para soportar el trabajo a que están sometidos dentro del pozo. Para tales efectos las tuberías se fabrican de acuerdo con especificaciones fijadas por la A.P.I. Estas especifican dentro de razonables márgenes, la calidad, el tipo, el diámetro, el espesor, el peso por pie, la longitud, el tipo de rocas y resistencia a la tensión.

Los principales factores que hay que considerar para el diseño de las tuberías de revestimiento son:

1.- TENSION.-El esfuerzo de tensión, es principalmente, función del peso muerto de la columna misma. Influyen este esfuerzo, el efecto de flotación de la tubería sobre el lodo, también el roce de la tubería al momento de bajar y subir.

2.- COLAPSO O APLASTAMIENTO.- Se refiere a la presión aplastante que la tubería tiene que resistir, debido a la presión desarrollada dentro de los estratos perforados, o la presión ejercida por fuera, por la columna de lodo circundante a lo largo del espacio anular entre el extremo de los tubos y la pared del hueco.

3.- RESISTENCIA AL REVENTON.- La resistencia de la columna a la presión de este género, es cualidad importante puesto que evita el que los tubos revienten durante alguno de los varios trabajos, tales como cementación forzada, sand-frac, acidificación, etc.

El diseño de las columnas de revestimiento comprende, la elección de una columna combinada que además de satisfacer las condiciones de seguridad sean las más económicas posibles.

Una aplicación de todo lo dicho en este capítulo se hará en el pozo (X) cuyo programa es como sigue: Se comenzó la perforación con broca de 9-5/8" hasta una profundidad de

1,000 pies. Una vez alcanzada esta profundidad, se cambió de broca de 9-5/8 por una de 17" con el fin de ensancharlo y poderse correr la tubería de revestimiento de 13-3/8"; el lodo se mantuvo con un peso de 10.5 lbs/gal., luego se siguió la perforación <sup>con</sup> broca de 9-5/8" hasta pasar la arena "C" 100 pies, en seguida se cambió la broca con una de 12" con el fin de ensancharse y poderse correr la tubería intermedia de 9-5/8"; el peso del lodo se subió a 12.6 lb/gal. para contrarrestar la presión de la arena "C". Luego de corrida la tubería intermedia se siguió la perforación con broca de 8-1/2" hasta terminar la perforación; el peso del barro se bajó hasta 11 lbs/gal..

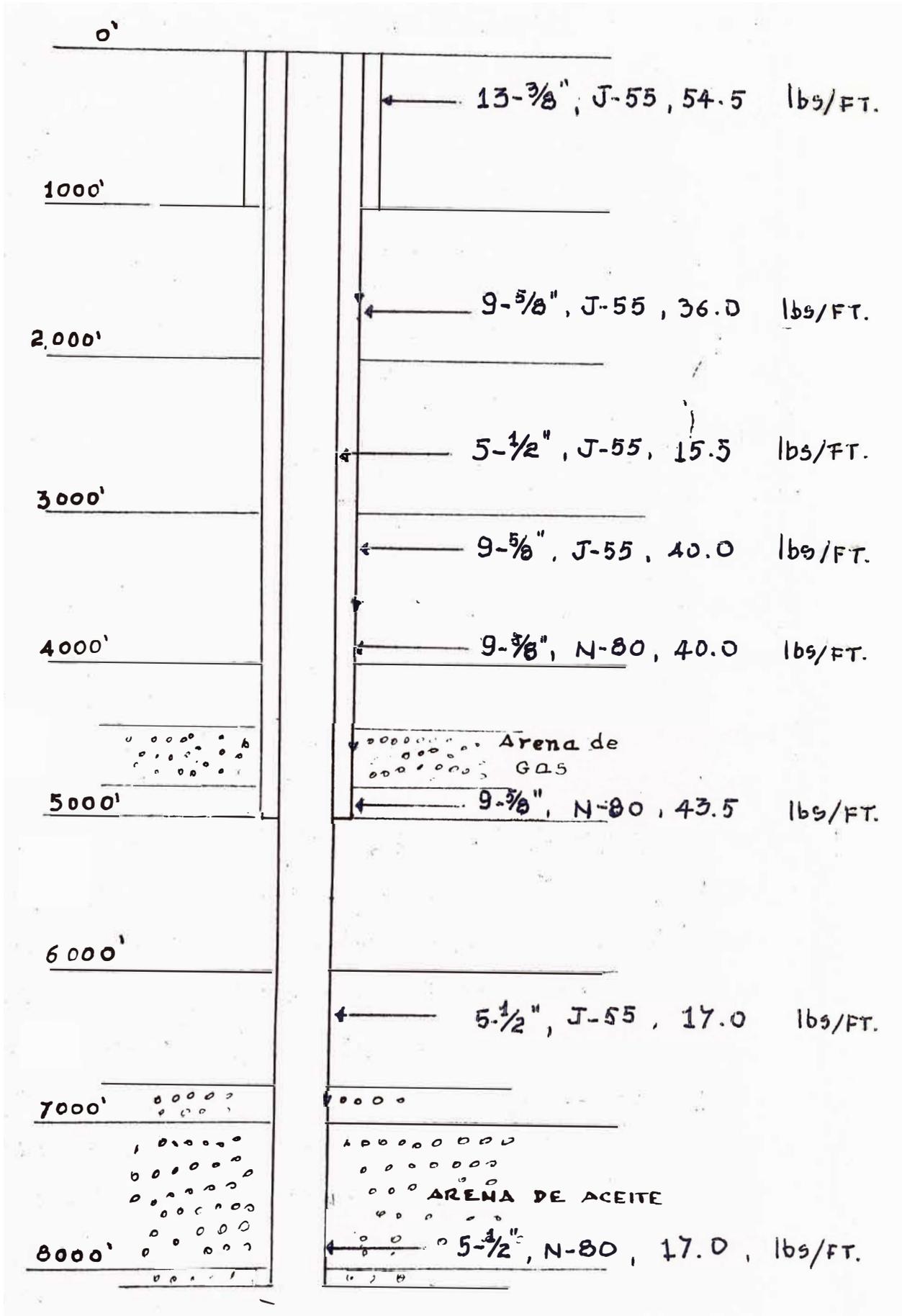
<u>Formaciones</u>	<u>Intervalo</u>	<u>Presiones Encontradas</u>
Greda A	de 0' a 2,000'	ninguna
Greda B	" 2,000 " 4,000'	ninguna
Arena C	4,400 " 4,900'	0.63 psi/ft.
Greda D	" 4,900 " 6,800'	poco compactada
Arena E	" 6,800 " 8,100'	0.55 psi/ft.
Basamento	debajo de los 8,100'	ninguna
	Límite petróleo + agua 8,000'	

El diseño de la columna de forros teniendo en cuenta los factores enunciados y con los siguientes coeficientes de seguridad.

<u>Esfuerzo</u>	<u>Coefficiente de Seguridad</u>
Colapso	1.125
Tensión	1.80
Presión Int.	1.33

Se ha hallado como se indica en el cuadro siguiente:

# PROGRAMA DE FORROS



<u>Forros Disponibles</u>	<u>Forros Utilizados</u>	<u>Long</u>
<b>De Superficie: De 13-3/8"</b>		
J-55, 54.5 lbs/Ft. S.T.	J-55, 54.5 lbs/Ft. S.T.	1,000'
N-80, 61.0 lbs/Ft. L.T. & C.		
<b>Intermedia: De 9-5/8"</b>		
Disponemos de todos los grados y pesos.	N-80, 43.5 lbs/Ft., S.T. & C	350'
	N-80, 40.0 lbs/Ft., S.T. & C	1,160'
	J-55, 40.0 lbs/Ft., S.T. & C	850'
	J-55, 36.0 lbs/Ft., S.T. & C	2,650'
<b>De Producción: De 5-1/2"</b>		
Disponemos de todos los grados y pesos.	J-55, 15.5 lbs/Ft., S.T. & C	5,500'
	J-55, 17.0 lbs/Ft., S.T. & C	1,300'
	N-80, 17.0 lbs/Ft., S.T. & C	1,300'

PREPARACION DEL POZO PARA LA CEMENTACION.— Un factor

muy importante en la cementación es la preparación del Hueco para la colocación de la lechada de cemento. Más de una falla ha sido causada por condiciones adversas del fondo del hueco y esto es cierto para casi todos los tipos de trabajo, desde la cementación de un forro en un pozo en perforación o de reparación en un viejo productivo,

La preparación del hueco para cementar una columna de forros comienza con la selección del punto donde la tubería debe ser colocada. El carácter de la formación naturalmente influye en la selección, pero el sitio más deseable para los forros no será siempre fácil de determinar. Con la ayuda del

registro eléctrico que dá una guía en el desarrollo del campo se puede determinar el punto más deseable al cuál los forros deben estar debajo de la superficie. Muestras mecánicas (cores) dan información adicional y también algunas muestras para conocer el terreno en cada punto del pozo no solamente en pozos de exploración sino también en todos los pozos, en campos donde la estratigrafía puede variar. El muestreo sólo puede dar cierta definida información en un pozo particular, y de la información obtenida por muestreo, pueden obtenerse las condiciones en/y sobre el punto donde el zapato puede ser colocado, tales condiciones tienen frecuentemente una considerable influencia sobre el comportamiento del cemento cuando sube detrás del forro.

EFFECTOS DEL TAMAÑO DEL HUECO.- El diámetro del hueco que determina la superficie del anillo a través del cual el cemento pasa cuando es desplazado detrás del forro, determina el grosor de la envoltura de cemento alrededor del tubo. El área de este anillo tendrá frecuentemente una gran influencia en el trabajo de cementación, dependiendo de él su éxito y efectividad. El resultado de un trabajo de cementación es por supuesto una hoja de cemento uniforme alrededor del casing, esto se logra por el uso de centralizadores. La combinación ideal parece ser forros acoplados colocados en pozos de 120 % a 140 % del diámetro exterior del casing, sin darle importancia al diámetro del cople. Un requisito colocado por

otros con respecto al diámetro del hueco, es que cuando el lodo fluido circula dentro del casing o cuando de cementa, la velocidad de la columna ascendente debería de ser mayor que la columna descendente dentro del casing. Esto limita el mayor tamaño del hueco que debería de ser usado para un tamaño dado de casing, por la expresión:

$$D^2 = 2d^2$$

D = diámetro del hueco

d = diámetro interior del casing

Las razones dadas por estas reglas son que: Si el tamaño del hueco es mucho mayor que aquel del casing, ciertas proporciones de cemento pueden llegar a endurecerse y comenzar a armarse antes de que todo el cemento sea desplazado del casing.

EFFECTOS DE LA COSTRA DE LODO.- A pesar de que la técnica del lodo ha sido tan altamente desarrollada que la costra de lodo puede llevarse prácticamente a un grosor despreciable, muchos pozos son perforados con fluidos que construyen muy gruesas costras sobre las paredes del hueco. Cuando ésta gruesa costra del barro no ha sido limpiado previamente puede contaminar la lechada; además el espesor de la costra disminuirá el espacio anular. El mejor procedimiento es por supuesto el uso de un lodo con buenas propiedades constructoras de costra (Uno que forme una costra muy delgada y

fácil de sacar). Cuando las condiciones del fondo del hueco lo permitan, es generalmente ventajoso circular con lodo acondicionado antes de que comience el trabajo de cementación y continuarla por el periodo de tiempo que sea necesario, para despejar del pozo toda la arena y detritus y uniformizar el peso del fluido a lo largo de toda la columna. Se han hecho pruebas que han mostrado que se puede obtener muy buenos resultados para sacar gran cantidad de costra de las paredes alrededor y sobre el zapato por medio del lavador hidráulico; pero cuando se quiere asegurar el agarre del cemento en alguna extensión sobre el zapato, será más efectivo rasquetear (con Wall Scraper) para sacar la costra de lodo. El acondicionamiento del barro es ahora tan avanzado que no habrá dificultad en mezclar y circular un fluido para cualquier condición que se encuentre en el fondo del pozo.

PREPARACION PARA TRABAJOS DE REPARACION.- Un argumento muy concluyente para realizar un buen trabajo en la cementación primaria es la necesidad que tan frecuentemente crece de hacer algunos trabajos de reparación especialmente de recementación. Los trabajos de reparación son generalmente más difíciles de realizar que los originales. La mayoría de los trabajos de reparación sin embargo tienen también otras causas además de un mal resultado en las operaciones de cementación primaria, pero el uso extensivo del cemento en trabajos de reparación ha probado su valor en el mantenimiento de pozos. Todos los trabajos de reparación no pueden ser

previstos ni precisados aunque muchos pueden ser esperados. Gran número de ellos resultan de los cambios normales de las condiciones del fondo del Pozo como invasiones de agua y descenso de la zona productiva. Los casos son generalmente específicos e individuales y cada uno requiere particular consideración, muchos caen en grupos generales pero cada uno requiere un tratamiento peculiar.

Cuando la recementación de una sarta de tubos sigue a una prueba de aislamiento de agua no satisfactorio, es generalmente ventajoso cortar el cemento y algo de la formación debajo del zapato para dar acceso a la lechada al anillo incompletamente cementado alrededor del tubo.

Hasta hace muy poco, muy pequeña atención se le había dado a la preparación interior de los forros a usarse y de las herramientas a cementar. Los forros a través de los cuales estas herramientas deben de pasar tendrán obstrucciones en su cara interna que impedirán que las herramientas pasen y malograrán cualquier material de empaque de que estén provistos o del cual depende su operación. Se ha encontrado que las obstrucciones de las caras del casing pueden ser: incrustaciones de cemento que no se sacaron después de un trabajo de cementación antigua, astillas hechas por la perforación a bala y corrosiones de la parafina u otra materia extraña adherida a la pared del tubo. La operación de sacar material depositado de cualquier clase, duro o blando, o el

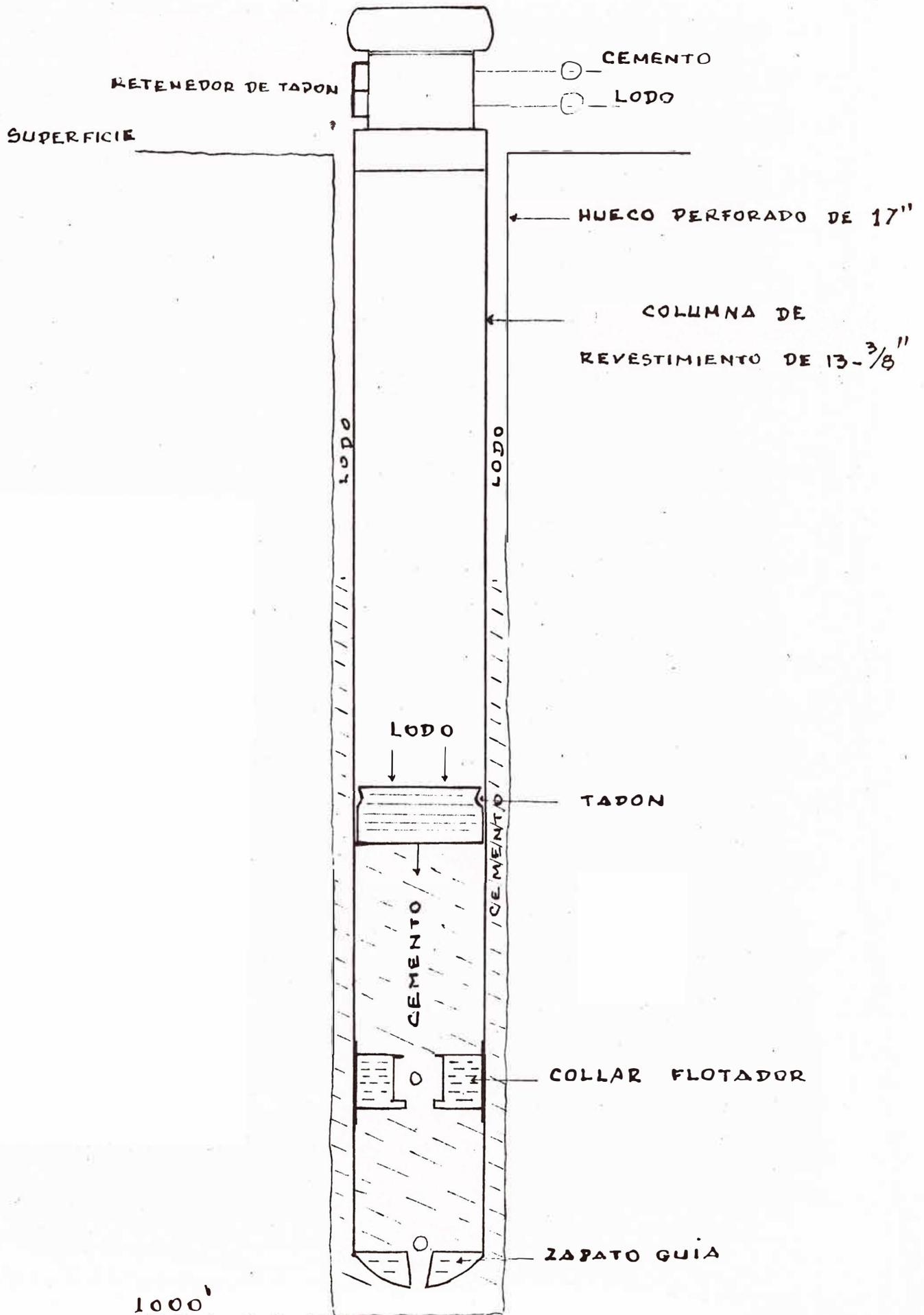
limamiento de las astillas de la cara interior del casing pueden ser hechos eficientemente por medio del Rotar y Casing Scraper. La herramienta se monta sobre la broca o el drill collar. En muchas operaciones de reparación solamente se emplean lavadores que consiste en mástiles portátiles sin accionamientos de rotación.

### PROCEDIMIENTO DE CEMENTACION

**FORROS DE SUPERFICIE.**- Lo primero que se hace es soldar el zapato que irá al fondo, además se coloca el collar flotador una o dos uniones encima del zapato guía. Luego se introducen los tubos enroscándolos hasta llegar a la profundidad deseada. Con el fin de evitar la flotación originada por la válvula del zapato, es costumbre hechar el lodo dentro de la tubería conforme se va corriendo. Cuando se llegan a arrear todos los tubos, se coloca en la parte superior el portataponés con sus diferentes válvulas para poder circular tanto el lodo como el cemento.

Antes de dar comienzo a la operación de cementación, se circulará el lodo por las siguientes razones: a) Limpiar el espacio anular entre los forros y la pared del hueco para permitir la uniforme distribución del cemento. b) Asegurarse que los forros quedarán llenos de lodo. Terminado esto se bombeará el cemento, se recomienda suficiente cemento para alcanzar la superficie. Ver Fig. 6.

CEMENTACION DE LA COLUMNA DE  
REVESTIMIENTO DE SUPERFICIE DE 13-<sup>3</sup>/<sub>8</sub>"



COLUMNA INTERMEDIA.- Para la cementación de la columna intermedia se seguirán los mismos pasos que para los forros de superficie, los forros se bajarán provistos de rascadores y centralizadores con el fin de lograr una buena cementación en el tope y fondo de la arena "C". Para la localización de rascadores y centralizadores siga lo que se dice al respecto en el capítulo de equipo.

Para efectuar un buen taponeo de esta arena se recomienda cementar desde 100 pies debajo hasta 700 pies por encima de la arena gasífera. Ver Fig. 7.

COLUMNA DE PRODUCCION.- Esta columna se cementará con el fin de poner a producción la arena "E". Para la localización de rascadores y centralizadores siga lo que se dice al respecto en el capítulo de equipo.

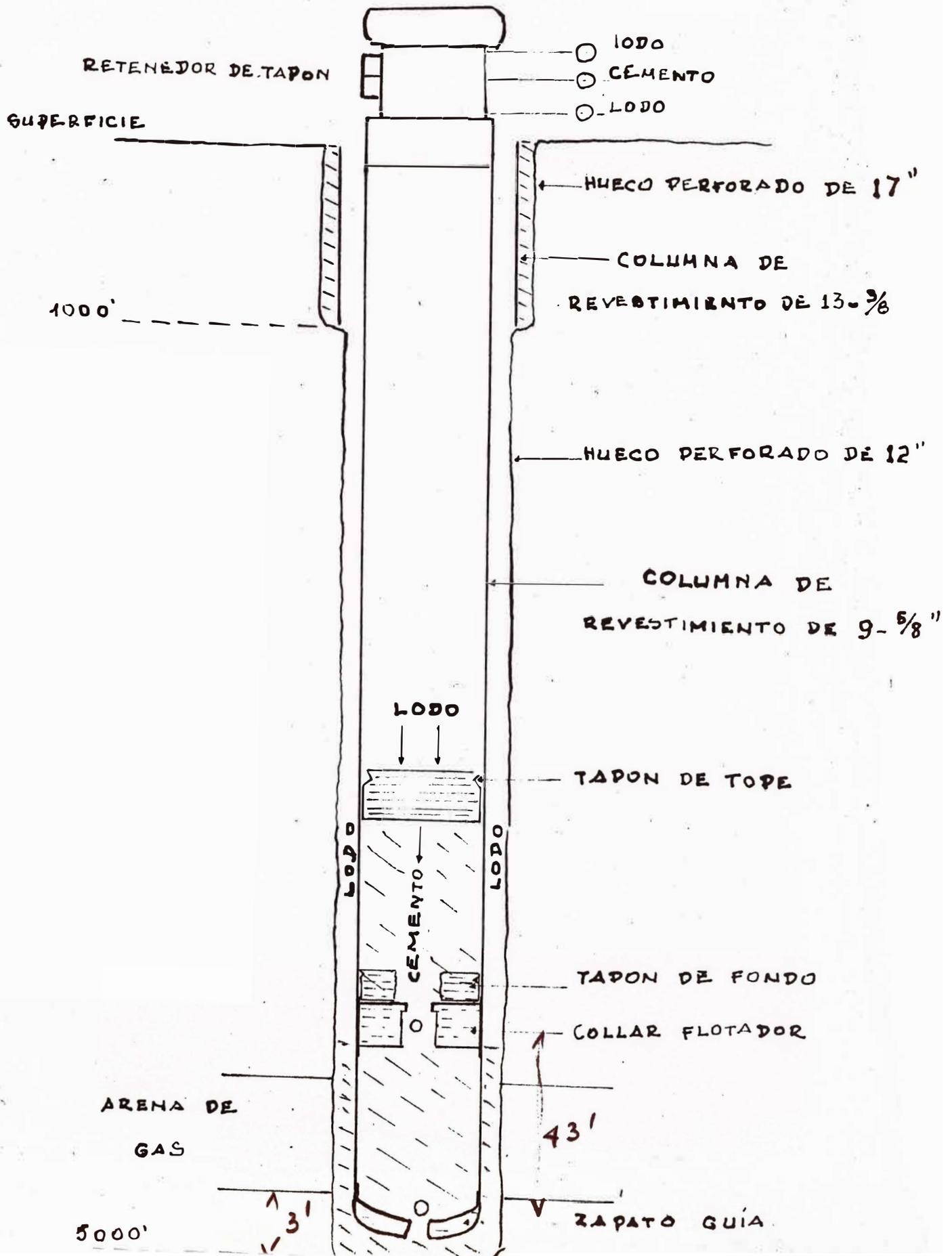
Luego de bajada la sarta debe procurarse no extraer en forma violenta, sea para el rascado o para otras operaciones, pues es bien sabido que muchas veces la acción succionante que se provoca de esa manera puede dar lugar a una reventazón incontenible por estar en esos momentos sin cabeza de control.

Antes de comenzar la cementación se hará circular lodo por las razones indicadas en la cementación de forros de superficie.

Al final de la cementación de pozos completados para perforación a bala, la verificación de la profundidad del segundo tapón se llevará a cabo inmediatamente después de ter

# CEMENTACION DE LA COLUMNA DE

## REVESTIMIENTO INTERMEDIO DE 9-5/8"



CEMENTACION DE LA COLUMNA DE

REVESTIMIENTO DE PRODUCCION DE 5-1/2"

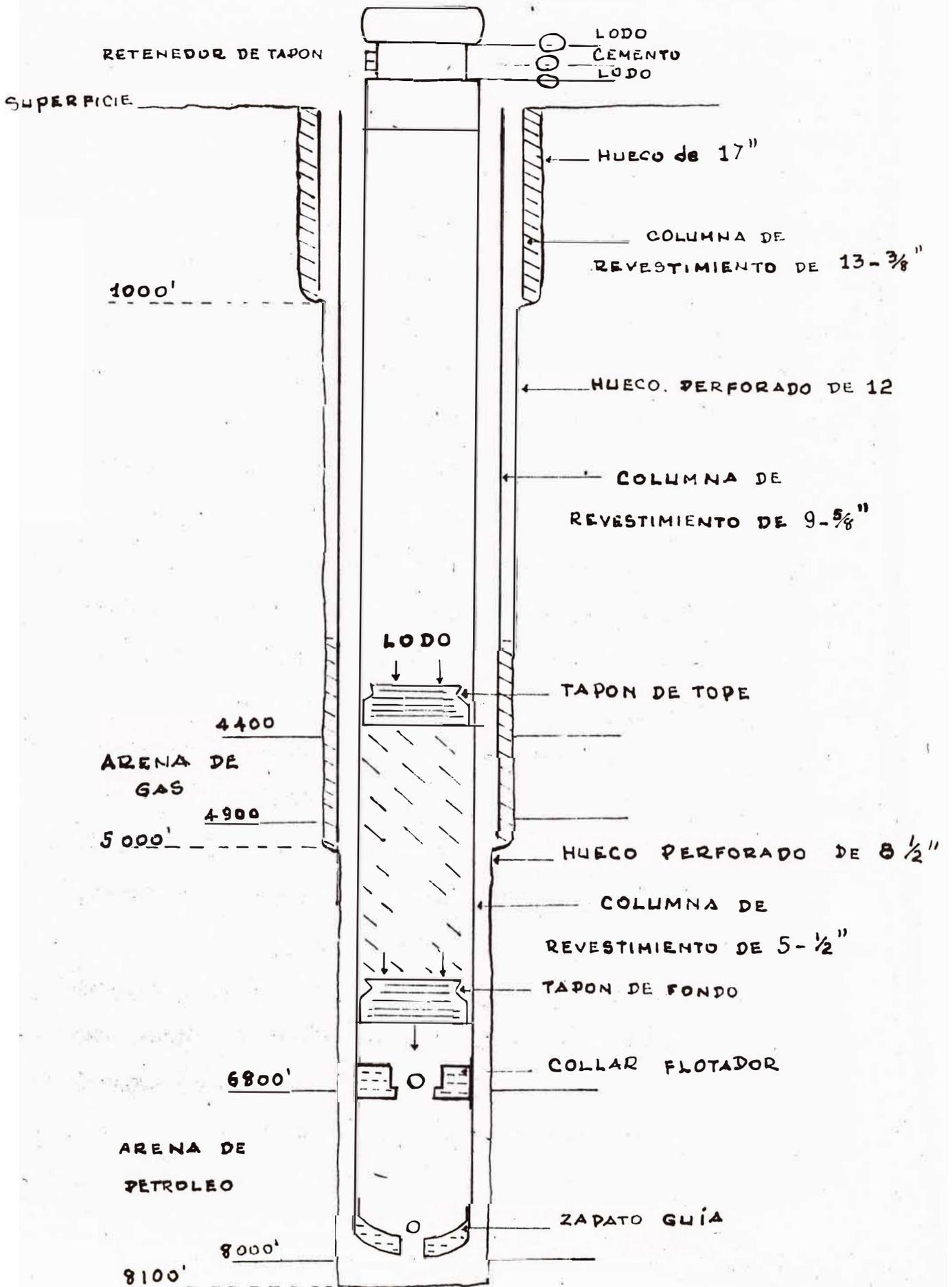


FIGURA 8

minada la cementación pues luego se moverá el equipo de perforación a otra locación (dejándose el lavado a equipos portátiles). Si en algún caso, por no hacerse tal comprobación, se desconociera que el tapón no alcanzó el fondo, las siguientes pueden ser las más graves consecuencias de ello; de no perder 30 minutos en esa prueba: 1) Pérdida de zona productiva en un espesor igual a la del cemento por encima del collar o, en su defecto, necesidad de reinstalar un equipo de perforación para extraer esa cantidad de cemento del collar. 2) La cantidad de cemento puede ser tal que algún intervalo superior productivo ha quedado sin cementar. Esto traería consigo la necesidad de un trabajo adicional de cementación.

Para efectuar un buen taponeo de esta área se recomienda cementar desde 100 pies debajo hasta 700 pies por encima de la arena. Ver Fig. 8.

FUNCIONES DEL CEMENTO EN EL HUECO.-- Las principales funciones del cemento en el hueco son:

1.- Proteger y conservar intactas las capas petrolíferas adyacentes a la revestidora hasta que sea tiempo de probarlas a ponerlas en producción.

2.- Impide la entrada de flúidos subterráneos o gas de alta presión, los que provenientes de otra formación pueden inundar un horizonte petrolífero o un estrato contentivo de agua dulce.

3.- Protege la columna de revestimiento contra presiones externas y posibles aplastamientos.

4.- Protege la tubería de la corrosión por agua mineralizada o por erráticas corrientes terrestres.

5.- Aislar las arenas de alta presión y evitar los reventones.

6.- Defiende la formación petrolífera de la contaminación con aguas provenientes de estratos más altos o más bajos.

CALCULOS DE LOS ELEMENTOS INTEGRANTES DE LA MEZCLA.-

En el cálculo de la cantidad de cemento y aditivos concurren muchos factores, entre los que podemos considerar:

- Diámetro del hueco perforado y profundidad.
- Diámetro de la tubería de revestimiento y profundidad.
- Características de la formación.
- Características del fluido de perforación.

En base a estos factores se determina: el volumen de la mezcla, peso de la mezcla y aditivos. Estos cálculos se han llevado a cabo con ayuda de la tabla de la Holliburton.

DE SUPERFICIE.- El cemento tendrá las siguientes características:

Volumen de la mezcla = 1.22 Ft.<sup>3</sup>/Sac.

Peso de la mezcla = 15.40 lbs/gal.

Aditivo:  $Cl_2Ca$  = 2% del cemento.

Volumen en el espacio anular entre el hueco de 17" y tubería de 13 3/8".

$$0.6006 \text{ Ft}^3/\text{Ft} \times 1000 \text{ Ft} = 600.6 \text{ Ft}^3$$

Porcentaje de Seguridad.

$$600.6 \times 0.10 = 60.0 \text{ Ft}^3$$

Espacio libre entre el zapato y hueco.

$$1.5762 \text{ Ft}^3/\text{Ft} \times 3 \text{ Ft} = 4.8 \text{ Ft}^3$$

Volumen de tubería entre el Collar y Zapato.

$$0.868 \text{ Ft}^3/\text{Ft} \times 43 \text{ Ft} = \underline{37.4 \text{ Ft}^3}$$

$$\text{Volumen Total: } 702.8 \text{ Ft}^3$$

Número de Sacos de Cemento:

$$\frac{702.8 \text{ Ft}^3}{1.22 \text{ Ft}^3/\text{Sac.}} = 580 \text{ Sacos}$$

Peso de  $\text{Cl}_2\text{Ca}$ :

$$580 \text{ Sac} \times 94 \text{ lb/sac} \times 0.02 = 1,050 \text{ lbs.}$$

Volumen de agua:

$$\frac{580 \text{ sac.} \times 5.5 \text{ Gal/sac.}}{42 \text{ Gal/bbl}} = 76 \text{ bbls.}$$

**COLUMNA INTERMEDIA.**- El cemento tendrá las siguientes características:

$$\text{Volumen de la mezcla} = 1.69 \text{ Ft}^3/\text{saco}$$

$$\text{Peso de la mezcla} = 13.65 \text{ lbs/Gal.}$$

$$\text{Aditivos: Bentonita} = 6 \% \text{ del cemento.}$$

Volumen del espacio anular entre el hueco de 12" y tubería de 9 - 5/8".

$$0.2801 \text{ Ft}^3/\text{Ft} \times 1200 \text{ Ft} = 336.0 \text{ Ft}^3$$

Porcentaje de Seguridad

$$336 \times 0.1 = 33.6 \text{ Ft}^3$$

Espacio libre entre el zapato y hueco.

$$0.7854 \text{ Ft}^3/\text{Ft} \times 3 \text{ Ft.} = 2.5 \text{ Ft}^3$$

Volumen de tubería entre el Collar y Zapato.

$$0.411 \text{ Ft}^3/\text{Ft.} \times 43 \text{ Ft.} = \underline{18.0 \text{ Ft}^3}$$

$$\text{Volumen Total: } 390.1 \text{ Ft}^3$$

Número de Sacos de Cemento:

$$\frac{390.1 \text{ Ft}^3}{1.69 \text{ Ft}^3/\text{sac}} = 232 \text{ sacos}$$

Número de sacos de Bentonita

$$232 \text{ Sac. Cem.} \times 0.06 \text{ lbs. bent/lbs. cem.} \times \frac{94 \text{ lbs. Cem/sac. cem.}}{100 \text{ lbs. bent/sac. bent.}} = 13 \text{ sacos.}$$

Volumen de agua:

$$\frac{232 \text{ sac.} \times 8.8 \text{ Gal/sac}}{42 \text{ Gal/bbl}} = 49 \text{ bbls.}$$

DE PRODUCCION.- El cemento tendrá las siguientes características.

Volumen de la mezcla = 2.02 Ft<sup>3</sup>/sac.

Peso de la mezcla = 12.95 lbs/gal.

Aditivos: bentonita = 10% del cemento

lignosulfato de calcio = 1/4 lbs/sac.cem.

Volumen del espacio anular entre el hueco de 8 - 1/2" y tubería de 5 - 1/2".

$$0.2291 \text{ Ft}^3/\text{Ft} \times 2000 \text{ Ft} = 460.0 \text{ Ft}^3$$

Porcentaje de seguridad

$$460 \times 0.1 = 46.0 \text{ Ft}^3$$

Espacio libre entre el zapato y hueco.

$$0.3941 \text{ Ft}^3/\text{Ft} \times 3 \text{ Ft} = 1.2 \text{ Ft}^3$$

Volumen de tubería entre el collar y zapato.

$$0.1305 \text{ Ft}^3/\text{Ft} \times 100 \text{ Ft} = \underline{13.0 \text{ Ft}^3}$$

$$\text{Volumen total: } 520.2 \text{ Ft}^3$$

Número de sacos de cemento:

$$\frac{520.2 \text{ Ft}^3}{2.02 \text{ Ft}^3/\text{sac.}} = 256 \text{ sacos}$$

Número de sacos de bentonita

$$256 \text{ sac.cem.} \times 0.1 \text{ lbs.bent/lbs.cem.} \times \frac{94 \text{ lbs.cem./sac.cem.}}{100 \text{ lbs.bent/sac.bent.}} = 24 \text{ sacos.}$$

Peso de lignosulfato de calcio

$$256 \text{ sac.} \times 1/4 \text{ lbs/sac.} = 64 \text{ lbs.}$$

Volumen de Agua:

$$\frac{256 \text{ sac.} \times 11.1 \text{ Gal/sac.}}{42 \text{ Gal/bbl}} = 67 \text{ bbls}$$

#### IV.- CEMENTACION MULTIPLE

ASPECTOS GENERALES.- La Cementación Múltiple puede definirse como una Cementación de Casing, donde el volumen de mezcla se sitúa en el anillo del casing, pasando a través del zapato, y un segundo volumen de mezcla se introduce a través de unas aberturas del "Múltiple Cementer", hacia otra zona determinada previamente. Por medio de este procedimiento se pueden cementar dos zonas completamente separadas.

En muy pocos casos, se presenta la necesidad de cementar tres zonas completamente separadas en una sola operación de Cementación, en tales casos se deberá instalar en el Casing en puntos previamente determinados dos herramientas de múltiple cementar.

Hay numerosas ventajas conseguidas por el uso de la herramienta del múltiple cementar en los trabajos de cementación. Algunos de éstos son:

1.- La habilidad para asegurar un buen agarre de la Columna detrás de la Sarta de Casing sin peligro de asiento del cemento o deshidratación, antes que la cantidad total requerida sea localizada. Especialmente cuando grandes volúmenes de cemento son bombeados.

2.- La habilidad para aislar dos zonas completamente distantes sin tener que bombear una columna de cemento a través de gran distancia en el hueco. Frecuentemente, esto

puede resultar en la eliminación de una o más sartas de casing.

3.- Cementación de formaciones en cualquier punto.

4.- Reducción del acanalamiento.

5.- Reducción de las presiones de la bomba.

6.- Prevención de la pérdida de lechada en formaciones ladronas.

En el diseño de la columna de cementación por el procedimiento de cementación múltiple hay que localizar las siguientes herramientas:

a) El Cementador Múltiple.- Se encuentran acoplados al casing a una altura determinada previamente. El cementador múltiple consta de tres cuerpos, uno de ellos fijo y los dos corredizas (manguito). Gracias a estos manguitos que el cemento es levantado por el anillo a una posición dada.

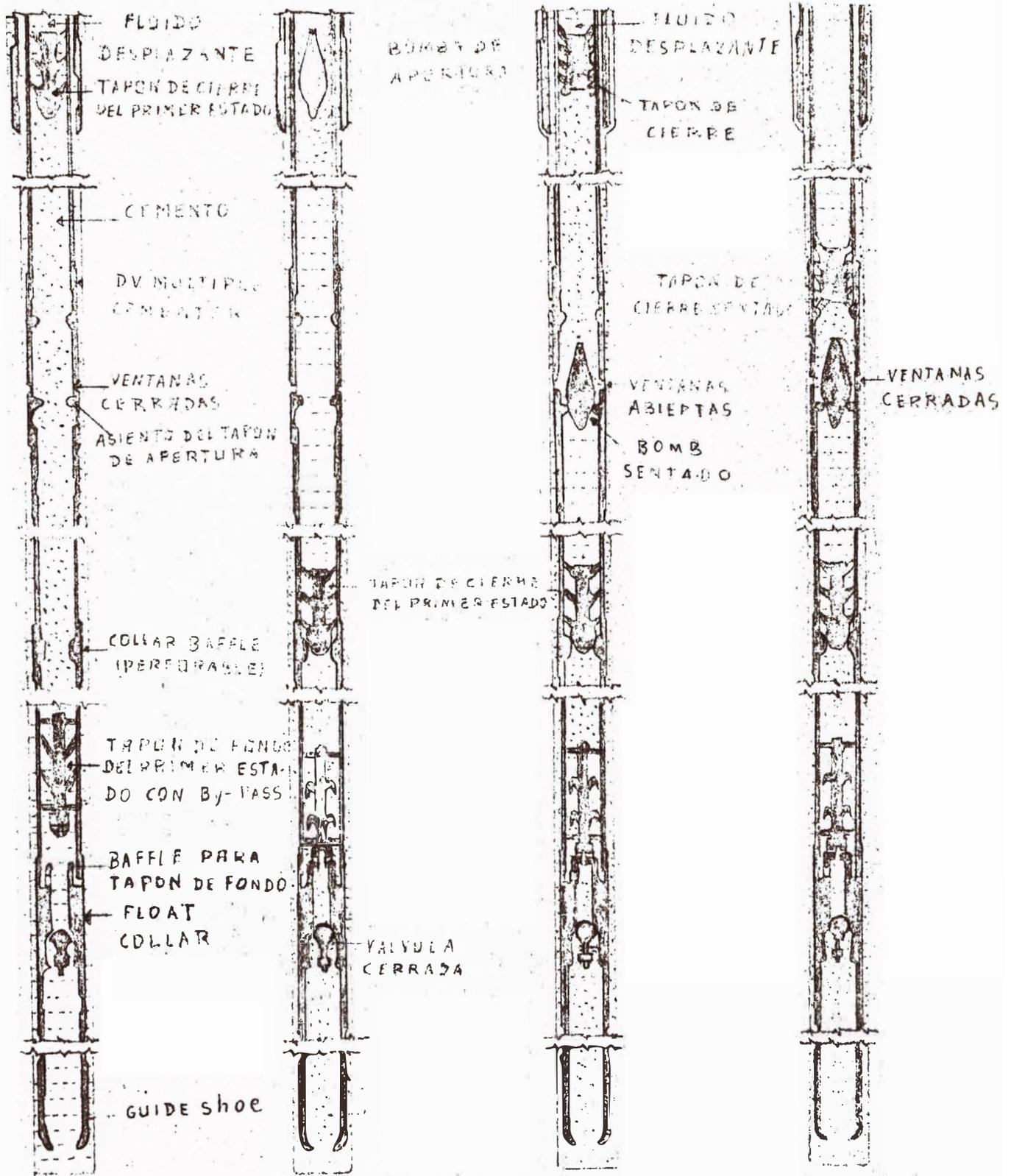
b) Baffle Collar.- Estos son instalados en puntos previamente determinados. Sirven para detener los tapones de cemento. Se conocen dos tipos uno hueco y el otro sólido y su instalación depende de la función que desempeñen.

c) Canastas de Cementación.- Se instalan debajo del múltiple cementer una unión abajo y sirven para guiar a la mezcla hacia arriba.

También requiere un conocimiento completo en la operación de cementación múltiple los Tapones, de los que conocemos:

- Botton Plug and Baffle
- Bomba Type Plugs
- Displacement Type Plugs.

DIAGRAMA FUNCIONAL DEL "DV" MULTIPLE CEMENTER  
 CON TAPONES DE CEMENTO TIPO BOMB Y BOTTOM  
 (PARA DOS ESTADOS)



**A**  
 DESPLAZAMIENTO DE  
 CEMENTO PARA EL  
 PRIMER ESTADO

**B**  
 CAIDA DEL TAPON  
 TIPO BOMB DE  
 APERTURA

**C**  
 DESPLAZAMIENTO DE  
 CEMENTO PARA EL  
 SEGUNDO ESTADO

**D**  
 MULTIPLE  
 CEMENTER  
 CERRADO

Figura 9

**TECNICA DE LA OPERACION.**- Después de bajada el casing al pozo se hace la circulación del lodo con el fin de probar si trabajan bien los float collar, baffle collar, y también para limpiar el casing y el espacio anular. Luego de realizada esta operación y mientras el casing y el espacio anular se encuentran llenos de lodo, se bombea la primera porción de cemento separados por dos tapones. Ver Fig. 9-A y B.

Una vez colocada la primera porción de la mezcla en la parte inferior se envía un tapón (bomb type plug) delante de la segunda porción, el tapón obtura el paso principal de flúidos, aumentando por consiguiente la presión sobre el cuerpo abridor del múltiple cementer, los que están sostenidos por unos pines que al aumentar la presión corta esos pines y deja deslizar el manguito abridor una altura pequeña, pero suficiente para dejar al descubierto unas aberturas del múltiple, dando paso así a la mezcla por esas aberturas a la formación que se quiere cementar.

Al terminar la operación el tapón superior se detiene en un asiento (manguito de cierre) por encima de las aberturas, haciendo que caiga, obturando las aberturas del múltiple. Ver Fig. 9-B-C-D.

## V.- CEMENTACION FORZADA

(Squeeze cementing)

TEORIA DE LA CEMENTACION FORZADA.- La cementación forzada a la cementación a presión implica la aplicación de una fuerza hidráulica para forzar la entrada de cemento (lechada) dentro de los poros de una formación permeable expuesta por el pozo, o a través de agujeros practicados en la tubería revestidora. Muchos son los casos en los que la lechada se puede introducir forzándolo en la parte petrolífera, acuífera o gasífera, para obturar el exceso de agua o de gas, sin obstruir el flujo de aceite. Por tal procedimiento se suelen corregir satisfactoriamente ciertos defectos de pozos producti-

El principio básico de la cementación forzada consiste en que: la lechada al ser puesta en contacto con un material poroso y sometido a un alto diferencial de presión, pierde agua en el material poroso. Si se continúa aplicando presión, se perderá más y más agua, y aumentará de consiguiente la densidad de la lechada, la que perderá sus propiedades de fluido y convertirse en material sólido.

La experiencia ha demostrado que es preferible "romper" la resistencia de la formación al pasaje de la lechada de cemento, bombeando delante de éste un fluido apropiado (agente fracturante). La presión fracturante requerida para in-

Introducir el fluido fracturante dentro de la formación, es en muchas oportunidades una presión mayor que la presión natural del fluido existente en la formación dada. Una vez que este fluido entra en la formación, la presión requerida para continuar la inyección, generalmente cae notablemente y gran cantidad de fluido adicional puede ser bombeado adentro sin aumentar la presión. Después de que el flujo se estabiliza dentro de la formación y la presión de inyección ha alcanzado un valor mínimo, al agente fracturante lo seguirá el cemento.

Se ha encontrado que generalmente una formación ha sido exitosamente cementado a presión, cuando después de la inyección de cierta cantidad de cemento la presión requerida para mantener el flujo aumenta, regresando al valor obtenido u observado para la "presión de fracturación". Este es un indicio bastante seguro para parar las bombas y dar por terminado el trabajo. Si después de haber introducido en la formación, suficiente cemento, no hay aumento de presión sobre aquella requerida para mantener la inyección del fluido, usado como agente fracturante; esto será una indicación de que la formación tiene relativamente alta permeabilidad, y que el cemento no sellará efectivamente los poros de la formación como se desea. En este caso será necesario realizar un trabajo de "Cementación forzada múltiple" en dicha formación.

Las observaciones de campos demuestran, que entre otras hay dos condiciones que ayudan a impedir que la formación

productora de petróleo sea dañado cuando se realiza una cementación forzada.

- En primer lugar, muy poca agua se separará de la mezcla de cemento para penetrar a la arena de aceite, pero el agua se perderá más fácilmente en los estratos que contienen gas o agua por lo que el fraguado en la arena de aceite será mucho más lento que en los estratos que contienen agua o gas.

- En segundo lugar, el cemento no se adhiere tan firmemente a una superficie de aceite, como a una de agua.

#### FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA CEMENTACION FORZADA

Muchos son los factores que intervienen en un proceso de cementación forzada, entre los que podemos considerar:

**PRESION DE FRACTURACION DE LA FORMACION.**-- La presión de fracturación de la formación, está íntimamente relacionado con la naturaleza y magnitud de la sobrecarga o presión de opresión. Experiencias de campo han demostrado que la gradiente de presión de la sobrecarga es aproximadamente alrededor de 1 psi/pie, y que la aplicación de una presión mayor a este valor, sobre la formación, causará que ella se parta, paralelamente (o a través) al plano de estratificación. Un análisis de los datos obtenidos de los pozos demuestran que la presión de rompimiento, fué menor que la presión teórica, o la presión calculada de la densidad de las rocas. Esta discrepancia se atribuye a dos factores: (Ver Fig. 10 y 11).

# AGRIETAMIENTO Y DESPLAZAMIENTO

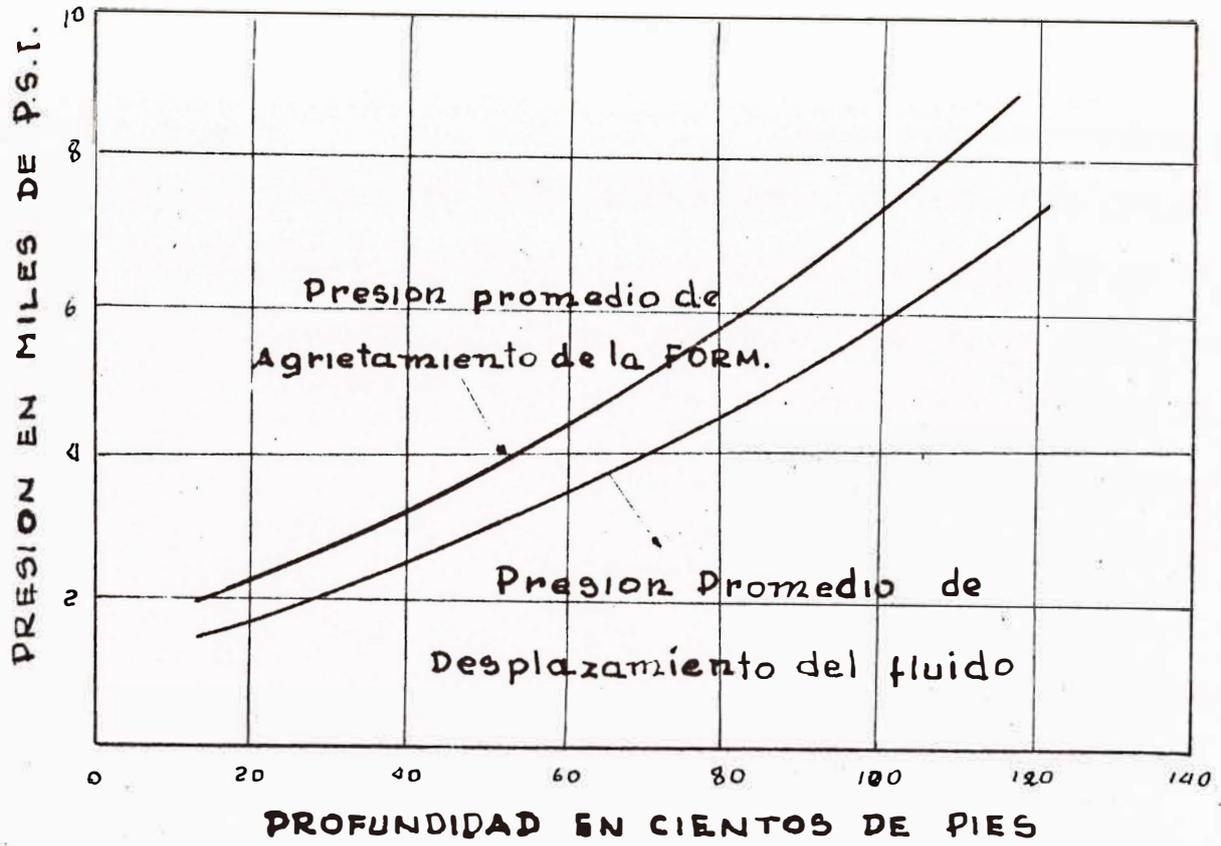


Figura 10

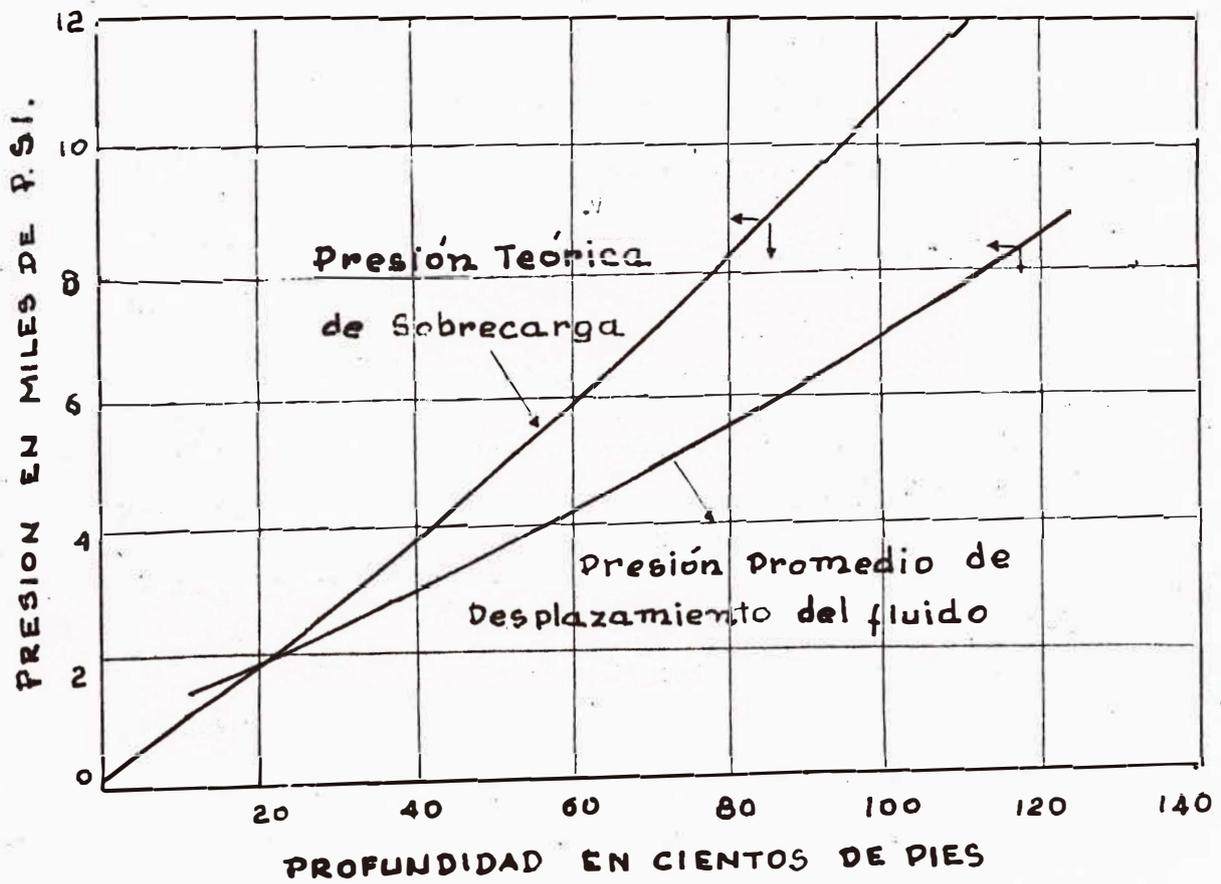


Figura 11

1.- No toda la sobrecarga es levantada realmente por el fluido inyectado. Las fuerzas ejercidas en la inyección del fluido, probablemente tiendan a deformar la roca en las vecindades de la fractura, por una combinación de flexión y compresión, de modo que el verdadero peso de opresión, resistiendo la deformación, es medido de la fractura de la formación a algún plano neutral arriba de él.

2.- La posición estructural de las formaciones sobre la fractura, se ha llegado a saber que pueden tender a soportar por viga o arco, algo del peso de la sobrecarga.

La presión de las bombas calculadas a partir de la presión de la sobrecarga obedece a la agte. fórmula:

Presión máx. de bombeo  $\approx$  0,8 sobrecarga-peso de la columna de fluido.

El factor de seguridad tomada obedece a que la presión de sobrecarga es generalmente menor en la práctica, que la teórica, calculada de la densidad de las rocas, siendo éste como máximo de 80%.

AGENTE FRACTURANTE.- En la elección del agente fracturante hay que tener en cuenta: permeabilidad de la formación, solubilidad de los sólidos de la formación en el agente fracturante, cambio de las propiedades de la formación por el agente, etc. Los agentes más generalmente usados son: agua, lodo y ácidos.

El agua puede ser usado ventajosamente en ciertas

arenas marinas que contengan precipitados de sales minerales, las que pueden ser disueltos por el agua. A veces presenta la desventaja de que puede inundar la formación productiva, no siendo apropiado para fracturar las formaciones altamente permeables.

El lodo se debe utilizar para romper formaciones altamente permeables y en los usos de campo es considerado que sea menos probable que dañe las arenas petrolíferas, especialmente si el lodo tiene como característica, bajo filtrado de agua.

El ácido como agente fracturante puede ser usado en formaciones calcáreas con el fin de aumentar el tamaño de los poros por solución antes de la introducción del cemento.

POSICION DEL CEMENTO CUANDO ES FORZADA DENTRO DE LA FORMACION.- Hay varias teorías en lo referente al camino que sigue el cemento, cuando es forzada dentro de la formación, de un estudio de ellas se ha deducido:

a) Que el cemento es forzado en forma de una lámina horizontal o capa de poco espesor, paralelamente a los planos de estratificación, teniendo una amplitud de 360° alrededor del pozo.

b) Si es encontrado una zona de poca resistencia como una faja de arcilla o plano de estratificación, el cemento seguirá esta zona de menor resistencia.

c) En pocos casos solamente, el cemento fué forzado

# DIAGRAMA FUNCIONAL DEL OBTURADOR RESCATABLE

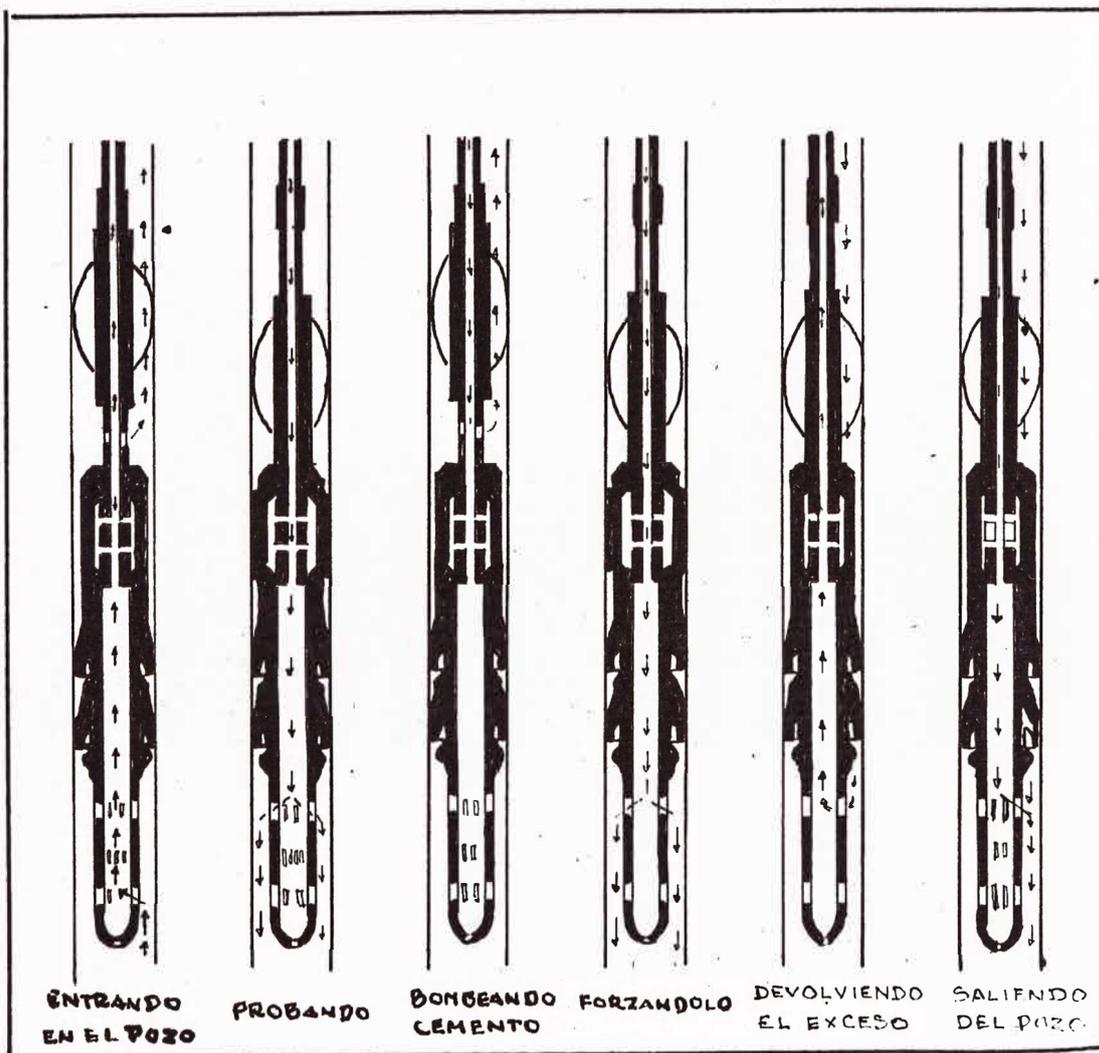
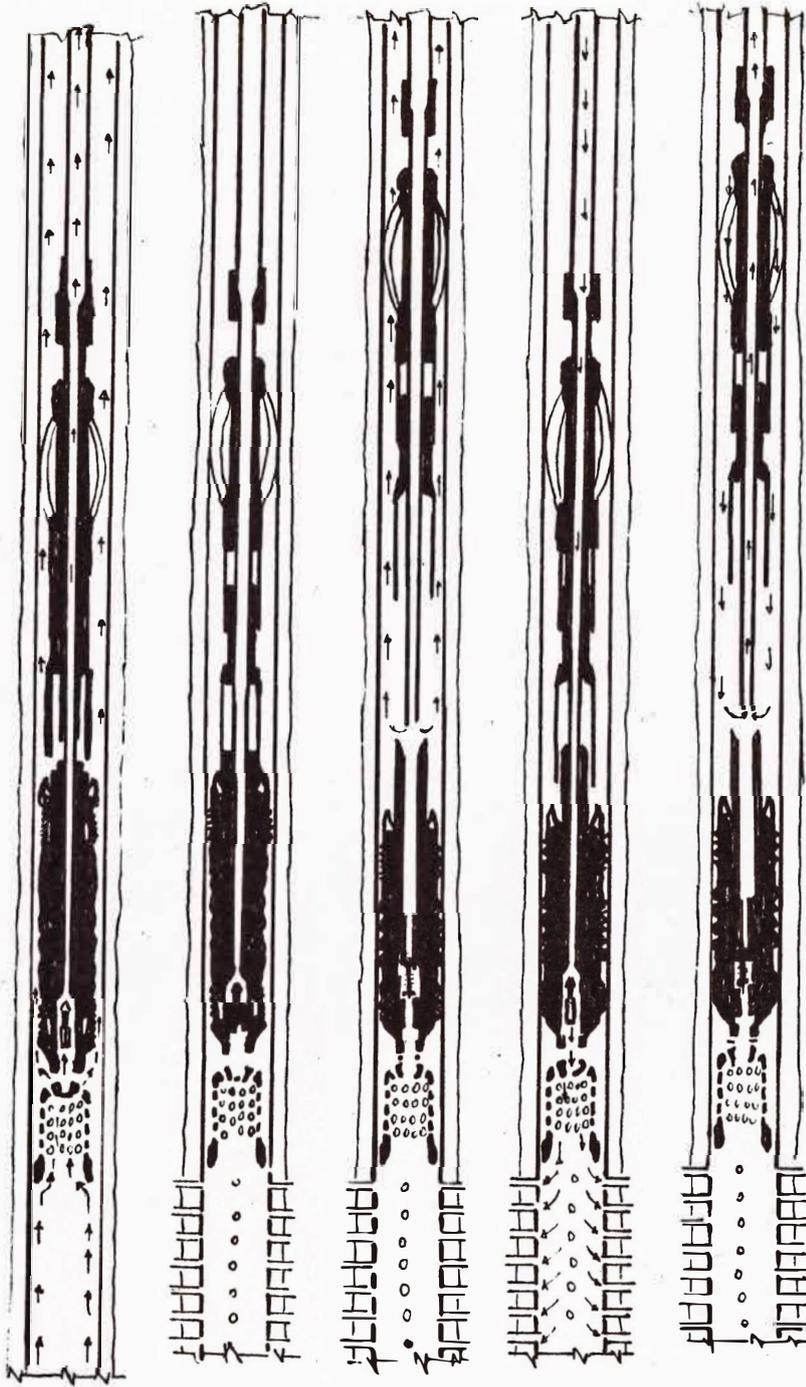


FIGURA 12

DIAGRAMA FUNCIONAL

DM & DC SQUEEZE PACKERS



ENTRANDO  
EN EL POZO

SENTANDO  
PACKER

CIRCULANDO

FORZANDO

CIRCULACION  
REVERSIBLE

FIGURA 13

verticalmente entre el cemento del casing y la formación. Y si esto sucede es debido a que la cementación primaria (del casing) no ha sido buena.

d) En ningún caso la formación es compactada notablemente, es decir que la lechada de cemento no es forzada dentro de los interticios de la arena.

**SELECCION DEL TIPO DE CEMENTO.**- Debe tenerse cuidado en la selección del cemento a usarse para las operaciones de "cementación forzada" desde que el cemento tiende a fraguarse más rápidamente a altas presiones y temperaturas. Además dependerá de la clase de trabajo y las condiciones en las que se realice. Véase lo referente en el capítulo de cemento.

**SELECCION DEL OBTURADOR.**- La selección del obturador apropiado depende: a) De la clase de trabajo a realizarse. b) De las condiciones reinantes en el pozo. Tres son los tipos de obturadores más usados, de las que ya tratamos en el capítulo referente a equipo de cementación. Las operaciones que realizan estos obturadores se pueden apreciar en las figs. 12 y 13.

**METODOS DE BOMBEO EN LA CEMENTACION FORZADA.**- Tres han sido los métodos más usados hasta ahora en la cementación forzada:

- 1.- Método de bombeo fuerte (fast pumping)
- 2.- " " " vacilante o alternado
- 3.- " " " lento.

**METODO DE BOMBEO FUERTE.**— Consiste en romper la formación con lodo y luego desplazar la lechada de cemento, dentro de la formación, a una velocidad tan fuerte como era practicable, hasta que ocurriera la restitución de la presión y no podía desplazarse más cemento. Frecuentemente eran requeridos muchos sacos de cemento y a veces se requerían varias etapas para obtener una presión final alta. La restitución de la presión es obtenida cuando suficiente agua ha sido exprimida del cemento.

Estudios de este procedimiento de bombeo, sugieren que parte de la lechada de cemento, es desplazado a formaciones adyacentes a la tratada.

**METODO DE BOMBEO LENTO.**— Este método es el más generalizado en la actualidad; ayuda a la razón de pérdida de agua por disminución de la velocidad de desplazamiento, permitiendo más tiempo para que el cemento se deshidrate. De este modo es obtenible altas presiones finales, con mucho menor volumen de lechada de cemento.

**METODO DE BOMBEO VACILANTE O ALTERNADO.**— Este método consiste en bombear cemento, a la formación, pero interrumpido por períodos de para. Este método es también efectivo, pero ésta práctica es a veces arriesgada, ya que el cemento podría ponerse gelatinoso o fraguarse mientras no está en movimiento y así resistir futuros movimientos del tubing hacia arriba o hacia abajo.

## APLICACIONES DE LA CEMENTACION FORZADA

La cementación forzada se usa ampliamente para reducir el G-O-R y aislar formaciones productivas de las napas acuíferas, hay muchas condiciones variables que requieren consideración al realizar un trabajo de este tipo.

REDUCCION DE LA PRODUCCION DE GAS.- En muchos campos se presenta capas de gas encima del horizonte acuífero, no encontrándose separados. En tales campos, conforme se recupera el aceite, la presión decrece, lo que permite que el gas se expanda, ocasionando, que cantidades excesivas de gas libre, entren al pozo, aunque la completación se realizó a suficiente profundidad para excluir el gas. En estos casos se colocará una liner a través del casing original, el cual será cementado frente a la formación de gas y aceite y luego baleado en la parte inferior de los estratos de aceite.

Algunos pozos se completan con un casing pequeño, el cual no puede contener ya un liner menor (ya que el tamaño del casing es el mínimo). Para este caso se sienta un retén cerca del fondo del casing y se cementa a presión en la parte superior del estrato productivo. En este tipo de trabajo es preferible taponear la parte inferior del hueco vertiendo arena gruesa (grava) y taponeando con cemento o material similar, antes de aplicar las presiones de compresión. Después de que el pozo ha sido comprimido, se limpia el pozo a través

del estrato de aceite y posiblemente baleado o acidificado en la parte inferior de la zona para restaurar la producción de aceite.

En un caso similar, el casing puede ser sentado originalmente a través de la zona productiva. En este caso la capa de gas se balsa dejando un intervalo corto sin balar, justo encima de las perforaciones del primer casing, de tal manera que se puede colocar un retén como un "tapón puente". Después de asentar el tapón puente, se asienta otro retén encima de las perforaciones de la arena gasífera y se cementa a presión en la zona de gas. Luego el cemento y los retenes se perforan y el pozo se reCompleta.

**TAPONEANDO LAS CAPAS DE AGUA.**- La producción de agua de la parte inferior de la estructura de un horizonte productivo es bastante común. Los pozos se perforan tan profundos, como para determinar el contacto aceite-agua, el agua puede surgir al extraer aceite del reservorio. En este caso son efectivos los métodos de taponeo, colocando tapones de cemento, para obturar las capas de agua, pero en otros campos la cementación forzada produce mejores resultados. Si la tubería se ha asentado en el tope de la zona de aceite, la operación de compresión se hace con hueco abierto con el retén ubicado cerca del fondo de la tubería. El contacto del cemento con la zona de aceite no tiene un efecto muy perjudicial; al menos en muchas localidades la producción de agua puede ser grande-

mente reducida, si no enteramente excluida, sin afectar materialmente la producción de aceite.

En ciertos campos una arena de agua puede ser superyacente a la de aceite de tal manera que puede ser difícil obtener una exclusión del agua, si se intenta colocar el fondo de la tubería en el tope de la capa de aceite. Una práctica común en tales campos es perforar a través del horizonte, cementar la tubería en el fondo y balear la sección inferior para obtener aceite. Si el agua está más íntimamente ligado al aceite, la zona de agua se balea primero, se cementa a compresión y luego se balea la zona de aceite.

Ocasionalmente se encuentra agua en un pozo que produce de una zona superior a través de un orificio en la tubería que ya ha sido cementada. El procedimiento es similar a los otros descritos; se coloca un retén como "tapón puente" justo debajo de la rajadura en la tubería, un segundo retén se asienta encima de la rajadura. Se fuerza el cemento bajo alta presión a través de la rajadura; se espera que el cemento frague, luego se perforan los retenes y el cemento que se halla dentro de la tubería.

Muchas veces el objeto de una cementación forzada, es para prevenir la migración vertical de los flúidos indeseables, introduciendo el cemento a una elevación determinada.

## VI.- TAPONES DE CEMENTO

CONSIDERACIONES GENERALES.- El proceso de colocar tapones de cemento en los pozos petrolíferos, consiste en obturar el hoyo en una determinada profundidad con el objeto de aislar ciertas secciones de la formación productiva que son perjudiciales a la producción del petróleo, así como para otros propósitos.

Particularmente en campos de horizontes calcáreos, donde la sección productora es muy permeable, este método ha resultado más exitoso que la cementación forzada al aislar zonas de agua. Se cree que en las secciones que la permeabilidad es bastante alta debido a cavernas o estrías, las presiones de cementación introducirán enormes cantidades de cemento dentro del horizonte productivo y obstruirán así el flujo libre de aceite en el pozo después que se le ha recompletado; en cambio el cemento colocado en los tapones, no se le fuerza dentro de la formación con la presión suficiente como para que dañe la formación.

En algunos campos se tiene dificultades para colocar estos tapones, especialmente en pozos que se han tratado con nitroglicerina o en los pozos que se les ha acidificado; en estos casos el cemento no alcanza a rellenar todas las hendiduras o estrías, por lo que el agua se filtra por estas grietas o pasajes abiertos por el disparo de nitroglicerina o por el ácido. En ciertos tipos de formaciones sin embargo,

se ha comprobado que es necesario descargar un poco de nitroglicerina a la porción superior de la formación que va a ser taponeada; bajo estas circunstancias, el disparo provee un amplio vacío en el hueco que servirá como ancla para mantener el tapón en su sitio cuando el pozo comienza su producción. Con el mismo propósito se usará un rascador para ensanchar la parte superior de la sección del hueco que se va a taponear.

CONSIDERACIONES EN LA SITUACION DE LOS TAPONES.- En la situación de los tapones de cemento, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La posición del tapón de cemento, es determinada por un estudio del electric-log.

- Estudios de Caliper-log para determinar la cantidad exacta de cemento requerido para llenar la sección del hoyo. Cuando no es obtenido un estudio de Caliper-log, se acostumbra estimar la cantidad de cemento requerido, del tamaño de la broca, permitiendo un exceso de 40 a 100% para contrarrestar ensancheamientos del hoyo.

- Con el objeto de remover la costra de todo y favorecer la filtración del exceso de agua de la lechada de cemento, se utilizan los "rascadores" los que pueden ser montados directamente sobre el drill pipe. Los rascadores usados son de dos tipos: los rotativos y reciprocantes.

METODOS DE UBICACION DE TAPONES.- En la actualidad con el objeto de impedir la entrada de agua o gas al hoyo se

está empleando la "Cementación Forzada". Empleándose los "tapones de cemento" casi en forma exclusiva para obturar las formaciones de fondo, productoras de agua. Entre los métodos mayormente usados tenemos:

METODO BALANCEADO.- Este método es el que más ampliamente se usa y consiste en lo siguiente: se bajan la sarta de perforación o de tubing hacia el fondo del pozo y luego se eleva 1 pie encima del fondo. Luego se circula lodo o agua hasta que el tubing y el anillo estén llenos de fluido de circulación de propiedades uniformes. La cantidad calculada de cemento se bombea a continuación dentro del tubing, seguido del fluido de circulación. Es importante que el fluido que se usa delante del cemento tenga la misma densidad que el agua que vá detrás, ya que se necesita que el cemento alcance el mismo nivel dentro y en el anillo del tubing. Se les expone a la presión atmosférica, para permitir esta igualización. Después de la igualización el tubing se eleva justo en el tope del tapón de cemento, el exceso de cemento se circula en sentido inverso, es decir del anillo al tubing a la superficie o circulación normal.

METODO DE DESPLAZAMIENTO.- Es muy similar al método balanceado, la única diferencia está en que se bombea una cantidad medida de fluido detrás del cemento. Ya que en este caso la igualización de niveles no depende de la carga hidrostática dentro y fuera del tubing, el tubing y el anillo no necesitan exponerse a la presión atmosférica y no es

necesario que los flúidos de adelante y detrás del cemento, tengan la misma densidad. Es importante que se vierta el volumen suficiente de cemento dentro del tubing, para que cuando se eleve el tubing, el cemento que se deja en el hueco no se contamine con el flúido circulante. El exceso de cemento se saca por circulación regular o inversa.

METODO DE BOMBA Y TAPON.- Este método no se usa tanto como los dos anteriores, pero en ciertos casos puede ser el más necesario. Se baja el tubing al fondo del pozo, se coloca un tapón de madera de 2 pies de largo dentro del tubing, seguido del volumen requerido de cemento; luego otro tapón de madera de 3 pies de largo se coloca dentro del tubing y suficiente mezcla de cemento colocado en el tope de este tapón para llenar el tubing hasta el tope del tapón de cemento. Se bombea toda la columna mediante el flúido de circulación. Cuando el tapón inferior alcanza el fondo, la presión de la bomba se eleva; luego se alza el tubing con el fin de permitir que pase el tapón afuera. El bombeo continúa hasta que el otro tapón alcance el fondo, se nota porque se eleva la presión de la bomba, y el tubing se eleva unos cuantos pies encima del indicado tope del tapón de cemento. El exceso de cemento se extrae por circulación inversa o regular.

METODOS DE "DUMP BAILER".- En los métodos enunciados, el bombeo del cemento se hace a través del extremo abierto del drill pipe.

Debiéndose mencionar también el método de "Dump Bailer" o sea llevando volúmenes de la mezcla taponeante en un achicador hasta el fondo, y descargarlo en este lugar. El equipo consiste de un achicador (Bailer), el que tiene poco peso y contiene cerca de 10 galones. Una válvula de descarga especial instalada en el fondo "tubería apéndice". Dentro del achicador hay un pistón el que proporciona el desplazamiento completo de todo el material taponeante. Es usado un medidor en el cable, para controlar la profundidad. La presión del material taponeante dentro de la formación puede ser controlada parcialmente aplicando presión adicional en la superficie.

Este método es más generalmente usado cuando se trata de la ubicación de tapones de plástico.

TAPONES DE PLASTICO.- Con gran éxito se está empleando los tapones de plástico para obturar las formaciones de fondo productoras de agua, y ello se debe en gran parte por las ventajas presentadas sobre los tapones de cemento.

El material plástico es similar a la "baquelita", es un líquido puro de ámbar. Este plástico tiene la particularidad de cambiar de líquido a sólido bajo la acción del calor. Una de las propiedades más importantes del plástico líquido es la habilidad para penetrar en la formación.

El plástico sólido es un material opaco, tiene una resistencia a la tensión de 240 psi y de compresión de 1800 psá. Su habilidad para adherirse al acero, cemento y la for

mación, es una propiedad muy importante que lo hace más apropiado que el cemento para aislar el agua. El plástico sólido es químicamente inerte e insoluble en crudos, aguas saladas y otros materiales hallados en los pozos. Es por lo tanto un tapón más permanente que algunos cementos los que tienen la tendencia a aflojarse y disolverse en la mayoría de las aguas saladas.

APLICACIONES.— Como hemos podido apreciar los tapones de cemento son generalmente empleados para obturar las formaciones de fondo productoras de agua. Pero también se les reconoce las siguientes aplicaciones.

- Para reducir la profundidad del hueco en orden a producir de un horizonte superior.

- Para desviar el pozo en la técnica de perforación dirigida.

- Abandonamientos.

- Pérdida de circulación.

- Para desviar a un lado del hoyo, drill pipe, drill collar o cualquier otro objeto que sea difícil de pescar.

VII.- REGISTROS DE TEMPERATURA SIGUIENTES A LOS TRABAJOS DE CEMENTACION

ASPECTOS GENERALES.- Es un poco simple calcular la cantidad teórica de cemento requerida para llevar a una altura dada detrás de la sarta de diámetro dado en un pozo perforado con un diámetro dado de broca. Desafortunadamente, la actual condición de un pozo raramente está de acuerdo suficientemente con las condiciones teóricas respecto a la altura que alcanzará el cemento. El tope de asiento del cemento puede estar debajo del punto teórico a causa de las cavidades de las paredes o por absorción de la mezcla de cemento por formaciones altamente permeables. En cambio, el tope de cemento puede estar sobre el punto teórico a causa del incompleto llenamiento del espacio anular debido a la canalización de la mezcla de cemento.

Es muy importante conocer la altura que ha alcanzado el cemento detrás del casing a fin de determinar si el trabajo de cementación en un pozo dado ha estado apropiadamente ejecutado. Por ejemplo, excesiva pérdida de mezcla de cemento en una formación cavernosa ó permeable del fondo del hueco puede significar que posiblemente formaciones productivas a un alto nivel no son convenientemente protegidas y pueden ser inundadas con agua de los estratos adyacentes a causa de no estar cubiertos por el anillo de cemento. Esto es también cierto cuando se produce la canalización del cemento, ya que

entonces puede permitir pasaje de flúidos de una formación a otra y también presentar más extensión de contacto de flúidos corrosivos con el exterior del casing.

Puramente desde el punto de vista de la operación asumiendo que hay suficiente altura de cemento no canalizada detrás del casing para dar adecuada protección, es deseable tener un registro de la localización actual del tope de cemento sobre cada pozo individual, tal información es particularmente útil en el recobramiento del casing del pozo que es abandonado.

Por las varias razones dadas es importante determinar el nivel del tope de asiento de cemento detrás del casing antes de intentar producir el pozo. Un Registro de Temperatura es el más adecuado medio de hacer esta determinación. Desde que el cemento genera considerable calor mientras se asienta, la temperatura del interior del pozo opuesto al asiento del cemento será generalmente más grandemente marcado que la natural temperatura del pozo para esa profundidad. Así la sección cementada puede ser reconocida por el incremento de temperatura dentro del casing por algún periodo de tiempo siguiente a la completación del trabajo de cementación. Como una regla general, el registro de temperatura sería tomado dentro de los dos primeros días siguientes al localizamiento del cemento en el hueco. No es aconsejable esperar más de tres días. Registros de temperatura de difícil interpretación pueden ser obtenidos después de un periodo tan largo

como 5 a 6 días, y ello se debe a las variaciones de la gradiente de temperatura de las distintas clases de formaciones atravesadas.

GRADIENTE DE TEMPERATURA.— Para una mejor discusión me parece apropiado presentar gradientes de temperatura hipotéticas mostrando cualitativamente la gradiente de temperatura obtenida siguiente a los trabajos de cementación.

En la Fig. 14, la curva A muestra la gradiente normal de un pozo, que indica la general tendencia de la temperatura con la profundidad. Suponiendo, sin embargo que el casing fue cementado hasta el punto h, como está indicado en la Fig. 14 a la derecha del ploteo. La generación de calor por el cemento causará un aumento de temperatura en la porción del pozo cementado de tal manera que la gradiente tomada en este plazo se desviará de la normal y seguirá la general tendencia en la curva B sobre el fondo de la sección cementada. La cantidad de incremento en temperatura al punto h dependerá del tiempo tomado desde la completación del trabajo de cementación, y también de la naturaleza (Particularmente de la conductibilidad térmica) de las formaciones circundantes en el pozo en actual registro.

En algunos pozos el tope de cemento será encontrado mucho más bajo que la profundidad calculada a causa de la presencia de formaciones cavernosas, o altamente permeables. En tales casos, la localización de la caverna o la formación

absorbente puede con frecuencia ser reconocida por el examen del ploteo de la gradiente de temperatura. Esto es posible a causa del hecho de que la más alta cantidad de calor generada opuesto a la mayor cantidad de cemento producirá la más alta anomalía de temperatura. El tipo de gradiente de temperatura que puede ser obtenida bajo estas condiciones es ilustrada en la Fig. 15, donde la curva A representa la tendencia de la gradiente normal en un pozo mientras la curva B representa la obtenida a pocas horas después de cementada, el gran incremento de temperatura entre los puntos a y b indica la presencia de una formación cavernosa o altamente permeable el cual absorbe una porción de la mezcla de cemento.

Registros de temperatura pueden ser aplicados para la localización del cemento en los trabajos de cementación múltiple, tal es el caso de la Fig. 16.

VARIACIONES EN GRADIENTE.- Las gradientes de temperaturas representadas por rectas son solamente para poder explicar la discusión, pero en realidad las gradientes son usualmente bastante irregulares, Estas irregularidades son debidas a variaciones en la cantidad de cemento a diferentes niveles, otra causa de tales irregularidades es la diferencia en las propiedades térmicas de las formaciones atravesadas, éste tipo de irregularidades es la mostrada en la Fig. 17.

Desde que la cantidad de incremento de temperatura depende sobre todo, de la diferencia de temperatura del cemento asentada y de las formaciones adyacentes, es bien

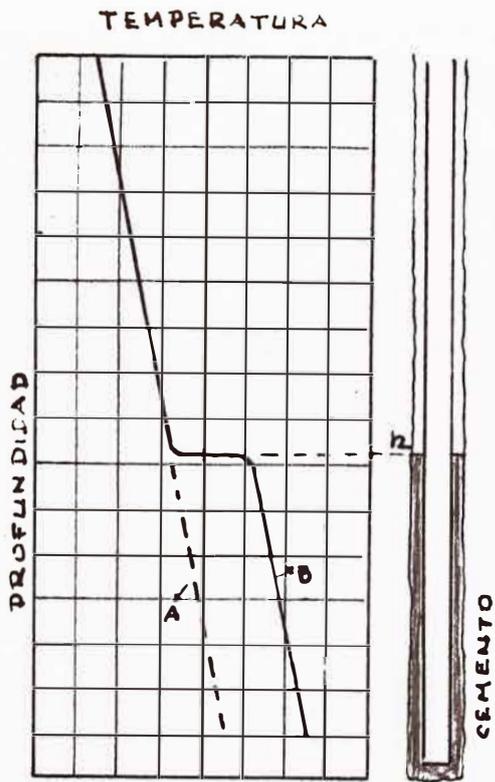


Fig. 14

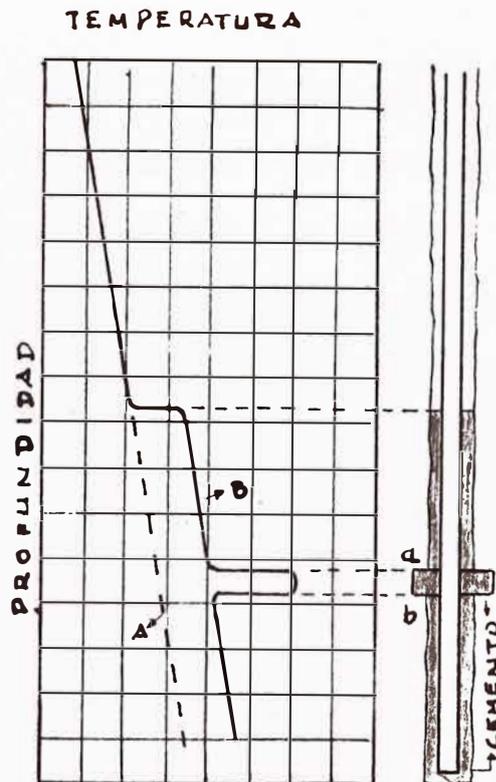


Fig 15

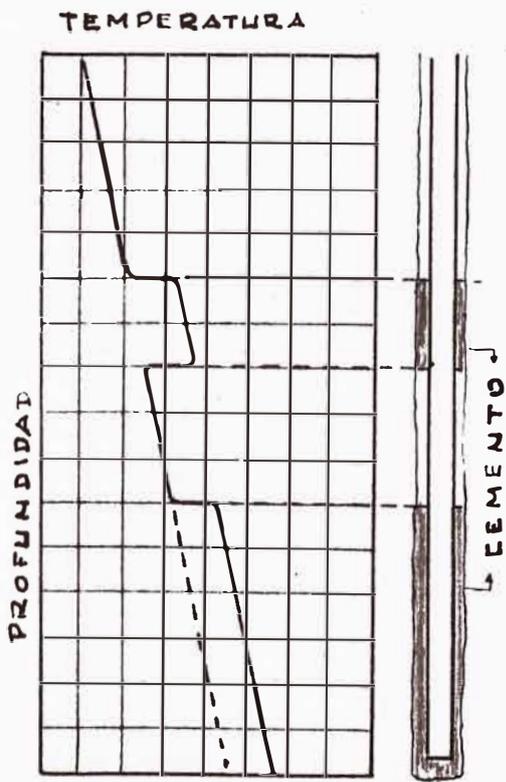


Fig. 16

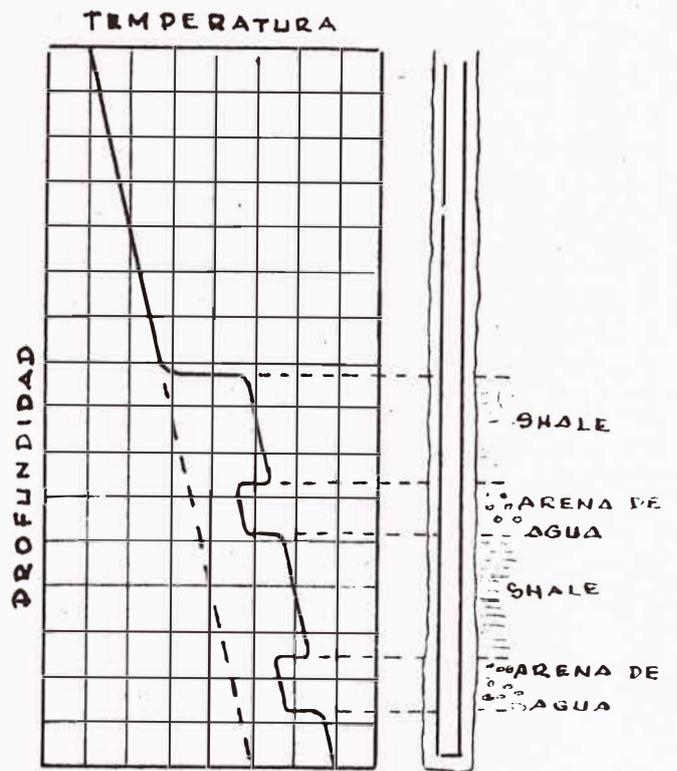


Fig. 17

fácil de localizar zonas de cemento a poca profundidad donde las temperaturas de las formaciones son relativamente bajas comparadas con las de gran profundidad. Es posible que a grandes profundidades, las temperaturas de las formaciones pueden ser bastante altas que el asentamiento de cemento no causará una anomalía de temperatura.

B I B L I O G R A F I A

- LESTER C. UREN.- "Petroleum Production Engineerin".
- NORMAN G. WELLS.- "Petroleum Engineer".- Octubre 1950.
- GLENN M. STEARNS.- "Engineering Fundamental in Modern Drilling".
- DWIGHT R. SMITH.- Propiedades Físicas del Gel-Cemento.
- PHILL MONTGOMERY.- Equipment, Material, Tools For Cementing Deep Well.
- MARIO SHEPHERD.-"Revista Petróleo" N° 1 - 1955.
- W. M. D. OWSLEY.- "Improved Casing Cementing".- Práctic in the United States.
- W. L. GROSSMAN.- "Primary Cementing of Casing".
- HALLIBURTON.- "Catálogo 1957".
- YOUNGSTAWN.- "Boletín N° 60".
- PETROLEO INT..- Setiembre y Octubre de 1957.
- N. GARCIA.- "Diseño y Cementación de Pozos".

I N D I C E

	<u>Págs.</u>
INTRODUCCION	2
I.- <u>CEMENTO Y ADITIVOS</u>	13
- Cemento	
- Propiedades más importantes	
- Factores que influncian al cemento	
- Tipos de Cemento usados en Petróleo	
- Aditivos.	
II.- <u>EQUIPO DE CEMENTACION</u>	18
- Equipo Superficial	
- Equipo Sub-superficial	
III.- <u>CEMENTACION DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO</u>	26
- Columnas de Revestimiento	
- Diseño de las Columnas de Revestimiento	
- Preparación del pozo para la Cementación	
- Procedimiento de Cementación	
- Funciones del Cemento en el hueco	
- Cálculo de los integrantes de la mezcla	
IV.- <u>CEMENTACION MULTIPLE</u>	42
- Aspectos Generales	
- Técnica de la Operación	
V.- <u>CEMENTACION FORZADA</u>	45
- Teoría de la Cementación Forzada	
- Factores que intervienen en la Cementación Forzada.	
- Métodos de bombeo en la Cementación Forzada	
- Aplicaciones	
VI.- <u>TAPONES DE CEMENTO</u>	55
- Generalidades, <i>consideraciones en la ubicación de Tapones</i>	
- Métodos de Ubicación	
- Aplicaciones	
VII.- <u>REGISTROS DE TEMPERATURA SIGUIENTE A LOS TRABAJOS DE</u>	61
- Generalidades	<u>CEMENT.</u>
- Gradiente de Temperatura	
- Variaciones en Gradiente	
BIBLIOGRAFIA	66