

Universidad Nacional de Ingeniería
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO



" TECNOLOGIA PARA OPTIMIZAR LA
CEMENTACION DE POZOS MEDIANTE
EL USO DE LA COMPUTADORA PACR "

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE PETROLEO

Malekov Eulaino Robles Chávez

Promoción 1987 - I

Lima - Perú - 1989

SUMARIO

En los inicios de la Industria del Petróleo se tenía muchos problemas durante la operación de perforación y completado del pozo, los cuales han sido resueltos en parte mediante la operación de cementación.

Por lo general esta operación de cementación ha sido mejorado progresivamente mediante el uso de aditivos que permiten obtener varios tipos de lechadas de cemento, las cuales se pueden ajustar a los requerimientos deseados para solucionar el tipo de problema encontrado en un pozo en particular. Asimismo se han desarrollado técnicas de aplicación que permiten mejorar el desplazamiento y colocación de la lechada de cemento en la zona problema.

Actualmente se utilizan microcomputadoras para el diseño y evaluación de esta operación lo cual nos permite simular la operación de cementación y detectar errores de diseño facilitando su corrección antes de iniciar la cementación; para la ejecución de la operación de cementación en las operaciones de campo se utiliza la computadora PACR, que ha resultado ser un sistema eficaz de adquisición de datos para el monitoreo y el registro durante las operaciones de bombeo de la lechada de cemento

**TECNOLOGIA PARA OPTIMIZAR LA CEMENTACION DE POZOS
MEDIANTE EL USO DE LA COMPUTADORA PACR**

INTRODUCCION	PAGINA
1._ CEMENTACION	1
1.1.- OBJETIVOS	1
1.2. - FACTORES QUE SE DEBEN TENER ENCUESTA PARA UNA CEMENTACION	2-4
1.3. - CEMENTO	6-9
1.4. -TIPOS DE CEMENTACION :	10
a) CEMENTACION PRIMARIA	10-19
b) CEMENTACION FORZADA (SQUEEZE)	19-24
c) TAPON BALANCEADO	24-25
1.5. - NUEVAS TECNICAS DE CEMENTACION	26-32
1.6. - ADITIVOS USADOS PARA LA CEMENTACION	33-39
2. - OPERACIONES DE CEMENTACION CON EL USO DE LA COMPUTADORA PACR	40
2.1. - OBJETIVOS DE SU USO	40-41
2.2. - DESCRIPCION DEL SISTEMA	42-45
2.3. - FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	46-54
3. - APLICACIONES EN LAS OPERACIONES DE CAMPO	55
3.1.- UN POZO DEL PROYECTO LAGUNA-ZAPOTAL :	
a) DISEÑO	55-70
b) EJECUCION	71-80
c) EVALUACION	81-97

TECNOLOGIA ACTUALIZADA EN LA CEMENTACION DE POZOS	98
EQUIPOS DE LABORATORIO, PRUEBAS REOLOGICAS Y SIMULACION	98-119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
5.1. - DISEÑO DE MATRIZ PARA LA CEMENTACION	120-132
5.2. - EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA	133-150
5.3. - OTRAS CONCLUSIONES	151-152

APENICE

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

La cementación de un pozo de petróleo y/o gas, constituye una operación muy importante para mejorar la productividad de un pozo. Al inicio de la industria del petróleo se tenía muchos problemas durante la perforación y la completación del pozo; los que fueron resueltos en parte mediante la operación de cementación. Actualmente se ha desarrollado nuevas técnicas de cementación las cuales permiten una mejor completación del pozo y básicamente en estas técnicas concierne esta tesis, del cual confio que será un valioso aporte para las personas interesadas en su aplicación. El éxito de una operación de cementación involucra varios factores; es como una cadena formada por eslabones los cuales están unidos unos a otros y la debilidad de uno de ellos originará la rotura de la cadena.

La preparación del pozo involucra principalmente el acondicionamiento del lodo, uso de lavadores , espaciadores, el movimiento de la sarta de tubería de revestimiento, una buena centralización y caudales apropiados para las condiciones del pozo; todo esto para facilitar la remoción de la costra de lodo y lograr una buena adherencia del cemento a la tubería de revestimiento y la formación.

Los fluidos de cementación son también tan importantes como los productos que la componen para los requisitos solicitados. No se debe olvidar que la ejecución de la operación es un eslabón como los otros que no debe ser débil, y que pese a que pueda resultar rutinario, siempre se debe corregir los pequeños detalles operativos para asegurar el éxito de la operación.

Una de las mejoras en la tecnología de cementación es la aplicación de microcomputadoras para el diseño y evaluación de esta operación. Esta técnica permite simular el trabajo de cementación y detectar errores de diseño facilitando su corrección antes de realizar la cementación. En este trabajo se presenta el uso del programa CEMCADE utilizado por la compañía Dowell Schlumberger.

1.- CEMENTACION

La cementación de un pozo petrolífero ó gasífero es el procedimiento que consiste en mezclar cemento seco con agua por medio de equipos especiales de mezclado y bombearlo a través de la tubería de revestimiento (casing) hacía el espacio anular formado entre el pozo y la cañería ó también a pozo abierto en una sección pre-establecida.

1.1.- OBJETIVOS DE UNA CEMENTACION

Los objetivos principales que se desea conseguir son los siguientes:

- a) Adherencia y soporte de la cañería (tubería de revestimiento).
- b) Restringir el movimiento de fluidos a través de la formación.
- c) Proteger la tubería de revestimiento de los esfuerzos y choques cuando se perfora para profundizar el pozo.
- d) Proteger la tubería de revestimiento de la corrosión.
- e) Aislar las zonas con pérdidas de circulación ó zonas " ladronas
- f) Tener mejores condiciones para la estimulación del pozo.
- g) Aislar las zonas de agua fresca que puedan ser empleados para uso doméstico y proteger otros posibles estratos útiles tales como el carbón, potasio y otras zonas de petróleo y gas que no esten en producción.

1.2.- FACTORES QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA UNA CEMENTACION

Debido a que muchos factores influyen en el éxito de una aplicación de cementación, debe tomarse en cuenta algunas consideraciones al planificar un trabajo de cementación, para el éxito de está; algunos de los factores principales son:

a) Fluidos de perforación; su importancia reside en que nos permite conocer el tipo de fluido y las propiedades reológicas usados durante la perforación, así como el acondicionamiento previo a la cementación.

b) Condiciones del pozo; este factor es importante porque nos permite tener conocimiento sobre el diámetro, profundidad y desviación del pozo; así como también la temperatura, presión y gradiente de fractura de las formaciones atravezadas.

c) Tipo de tubería de revestimiento; este factor nos permite conocer la profundidad de fijación del zapato guía, collar flotador ó collar diferencial, centralizadores y rascadores.

d) Composición del fluido de cementación; este factor nos permite conocer ó predecir el tipo de fluido de cementación, el volumen a ser usado, las propiedades reológicas de operación y básicamente las propiedades físico-químicos del fluido de cementación requerido.

e) Operaciones del equipo de perforación; este factor es de suma importancia porque nos permite conocer el tiempo y la velocidad de movimiento de la tubería de revestimiento, el tiempo de circulación del lodo antes de iniciar la cementación, para ello es recomendable que la circulación del lodo debe tener el mismo caudal (rate) diseñado para la cementación.

f) Equipos de cementación; este factor es de mucha importancia debido

que debe ser lo adecuado para las condiciones de cementación requeridos (presión caudal , etc.) , estos equipos por lo general están constituidos por :

* Camión cementador, este equipo es imprescindible para las operaciones de cementación, puesto que por intermedio de este equipo se bombea el fluido de cementación hacía el pozo.

La unidad de bombeo (fig. 1) es accionada por un motor Detroit Diesel 8V-71, y otro sistema auxiliar 8V-71 en la parte posterior; cada uno de ellos, acciona una bomba triplex de alta presión. Este es controlado desde una consola en la parte superior de la unidad.

* Tanque de paletas para preparar espaciador, Tiene una capacidad de 40 barriles y sirve para la correcta y homogénea preparación de los espaciadores en el campo, permite un fácil control de las propiedades físicas como densidad, esfuerzo de gel inicial, valores reológicos que son muy importantes para la remoción del lodo.

* Computadora de campo PACR, la unidad PACR es un sistema eficaz de adquisición de datos desarrollados por Dowell Schlumberger para el monitoreo, el registro de datos durante las operaciones de cementación y uso en análisis posteriores.*

* Computadora MicroVax II, tiene incorporado un paquete computarizado CemCADE, que nos permite la aplicación del concepto D.E.E. (diseño-ejecución-evaluación). Este programa incluye un simulador de la operación considerando toda la información alimentada momentos previos a la operación, permitiéndo predecir, evitar o confirmar el efecto de tubo en U y pérdidas de circulación en las tres fases que son diseño, ejecución y evaluación.

* Bulles, son las unidades en los que se transporta la mezcla de cemento

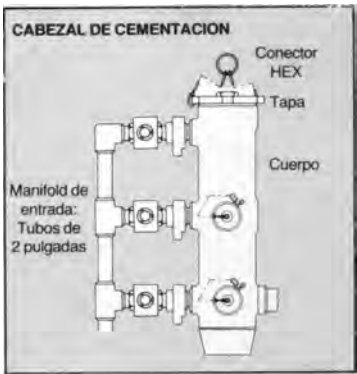
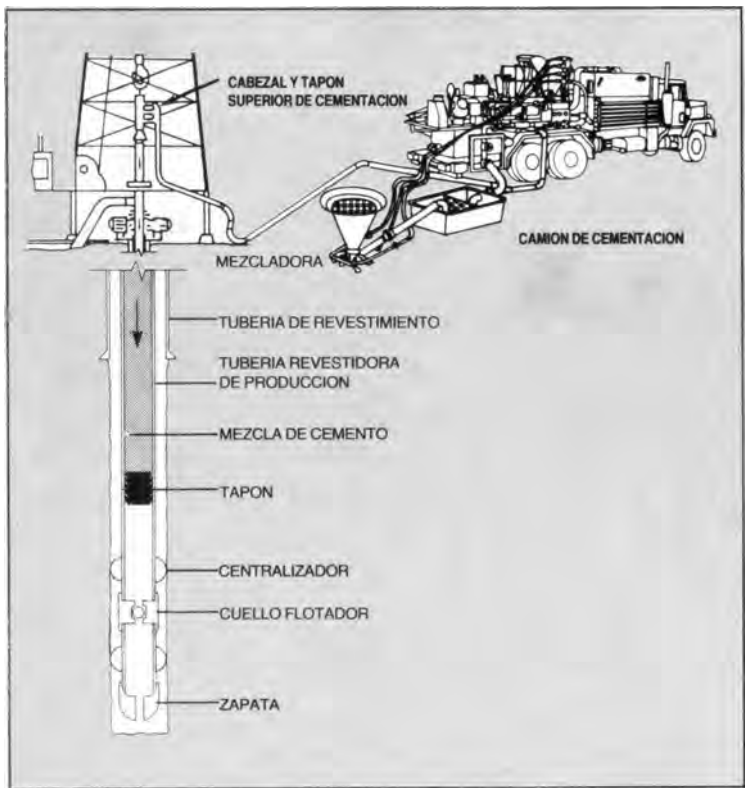


FIG. N° 2

con otros aditivos secos, estos están presiurizados con aire por intermedio de compresores que van junto a estos en el camión ó tractor ver fig- adjunto.

* Otros equipos de cementación son : mezclador, tanques, registrador de presiones (martín decker), cabeza de cementación, línea de cementación, tapones.

g) Efecto del tubo en "U", este efecto ocurre durante el desplazamiento del fluido de cementación en algunos puntos de la pared del pozo, generalmente durante la cementación primaria, debido en primer lugar a la variación de la densidad del fluido de cementación y en segundo lugar a la diferencia de los caudales de entrada y salida del pozo, este fenómeno sucede cuando el caudal de salida del pozo es mayor que el caudal de entrada ó inyección del fluido de cementación, lo cual forma un vacío como se muestra en la fig.3 .

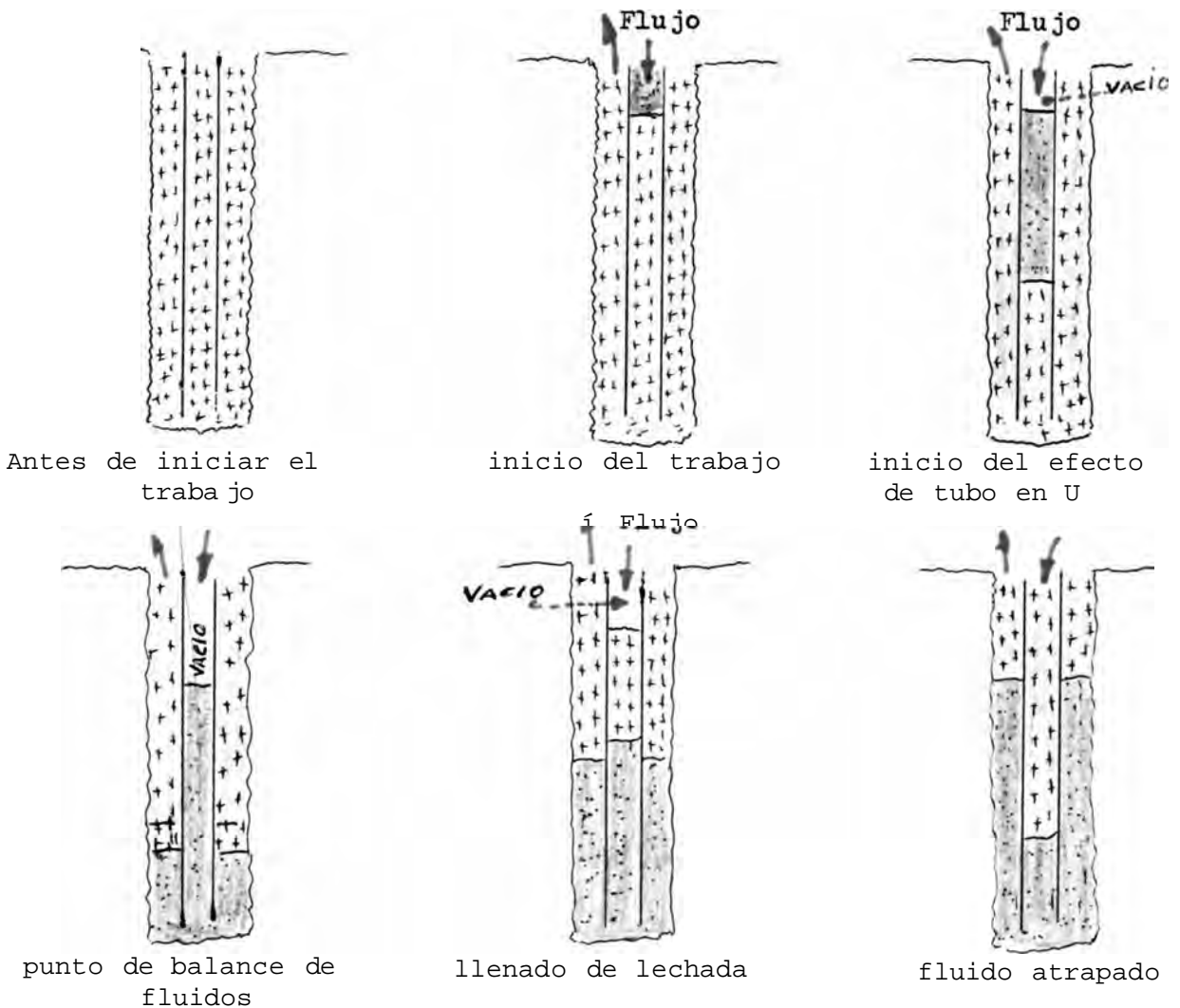


FIG. Nº 3

1.3.- CEMENTO

Existen tres tipos básicos de materiales cementantes y estos son : los cementos naturales, cementos de punzolanas y cementos portland. Los cementos naturales son cementos hidráulicos y tienen mucho en común con los cementos de cal. Ambos tienen compuestos de silicio, aluminio y **calcio** y sólo requieren materias primas para cada producto, son generalmente usados para concretos.

Los cementos de punzolanas fueron desarrollados y utilizados extensivamente por los romanos; este material es de origen volcánico y al molerse finamente y mezclarse con cal hidratada, provee un material hidráulico cementicio, estos son complejos y difíciles de clasificarlos. Los cementos que se utilizan hoy en día en la cementación en los campos petroleros son del tipo portland.

COMPOSICION DEL CEMENTO

El cemento contiene cuatro compuestos básicos y esenciales además de yeso, sulfatos alcalinos, magnesio, cal apagada libre (CaO) y cualquiera de otros aditivos especiales. Los cuatro componentes esenciales de cualquier cemento son :

NOMBRE	FORMULA	ABREVIATURA
Silicato tricálcico	$3CaO \cdot SiO_2$	C3 S
Silicato dicálcico	$2CaO \cdot SiO_2$	C2 S
Aluminato tricálcico	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C3 A
Tetracálcico de		
Aluminita ferrita	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C4 A F

propiedades del cemento

Las propiedades del cemento tales como el tiempo de fraguado, desarrollo de la dureza y la resistencia a la acción química proveniente de fluidos externos, son afectados por varios factores; estos factores son : La proporción de los ingredientes que lo componen, el tamaño de las partículas, la cantidad de agua que se haya utilizado, la temperatura y la presión bajo el cual se ha realizado el fraguado.

La reacción del cemento al agregársele agua a temperatura y presión atmosférica normales es diferente a la reacción que se produce bajo alta presión ó temperatura. Como el coeficiente de hidratación varía con las condiciones del pozo y las propiedades físicas y químicas de cada cemento son variables, no es nada extraordinario que se produzcan diferencias substanciales en el fraguado de cemento. Uno de los principales factores que afectan el fraguado del cemento es la distribución del tamaño de las partículas , que si se ha molido tan finamente que sus partículas tienen menos de 7.5 micrones de diámetro, esta dará como resultado un fraguado más rápido y mayores resistencias iniciales.

Silicatos de calcio C3S y C2S forman la mayor parte del cemento; por lo tanto, la mayor parte de la dureza que éste haya alcanzado en un periodo de 7 días y la resistencia final que haya de alcanzar el cemento fraguado son el resultado de la hidratación de los silicatos de calcio para formar cristales de hidrato de silicato de calcio.

El aluminato tricálcico C3A, es en gran parte responsable del fraguado inicial, en vista de su rápida hidratación. La concentración de C3A es también un factor importante en el control al ataque por el agua sulfatada. La contribución de la C4AF al fraguado del cemento varía con la temperatura y los aditivos que se hayan utilizado. Bajo algunas

condiciones es similar a la reacción del C3A.

HIDRATACION DEL CEMENTO

La hidratación del cemento es una reacción exotérmica; cuando el cemento se solidifica en un área cerrada, tal como un pozo, donde el calor no puede ser rápidamente eliminado, se produce un apreciable aumento de la temperatura. Si se sabe de antemano cuando se producirá este aumento de la temperatura, ello permitirá utilizar mediciones de la misma para ubicar el extremo superior de la columna de cemento. La hidratación comienza cuando al cemento se le agrega agua. Gradualmente el cemento se solidifica a medida que la hidratación continua. A bajas temperaturas la hidratación y la resistencia del cemento continua aumentando durante días, aún semanas, después del fraguado inicial, en cambio en zonas de altas temperaturas, la dureza máxima se puede alcanzar en unos pocos días o en cuestión de horas.

TIPOS DE CEMENTO USADOS EN POZOS DE PETROLEO

Los tipos de cemento están clasificados por el API (American Petroleum Institute), institución que se encarga de dictar normas y especificaciones de los cementos utilizados solamente en pozos petrolíferos y gasíferos. Los cementos elaborados para la Industria Petrolera están sujetos a diferentes rangos de presión y temperatura por lo que el API considera los siguientes clases de cemento:

CLASE A

Es apropiado para ser usado desde la superficie hasta 6,000 pies de profundidad, cuando las condiciones requieran propiedades especiales. El rango de BHT es hasta una temperatura de 170 F.

CLASE B

Este tipo es apropiado para ser usado desde la superficie hasta 6,000 pies de profundidad cuando las condiciones requieran de moderado a alta resistencia a los sulfatos. El rango de BHT es de 170 oF.

CLASE C

Es apropiado para ser usado desde la superficie hasta 6,000 pies de profundidad, cuando las condiciones requieran alta resistencia del cemento. El rango de BHT es hasta 170 oF .

CLASE D

Es apropiado para ser usado desde 6,000 a 10,000 pies de profundidad, bajo las condiciones moderadamente altas de presión y temperatura. El rango de BHT es hasta 230 oF .

CLASE E

Es apropiado para ser usado desde 10,000 a 14,000 pies de profundidad bajo condiciones de alta presión y temperatura y también de alta resistencia a los sulfatos. El rango de BHT es hasta 290 oF .

CLASE F

Es apropiado para ser usado de 10,000 a 16,000 pies de profundidad, bajo condiciones extremas de presión y temperatura y resistencia a los sulfatos. El rango de BHT es hasta 320 oF .

CLASE G

Se diferencia por su procedencia, son apropiados para ser usados como cementos básicos desde la superficie hasta 8,000 pies de profundidad.

Estos tipos de cementos son usados con aceleradores ó retardadores con el fin de disponerse para un amplio rango de profundidades, temperaturas del fondo del pozo y a la resistencia de los sulfatos.

1.4.- TIPOS DE CEMENTACION

Existen varias técnicas de cementación, que han sido desarrolladas a través de los últimos años por las compañías de servicio, en forma especial por la Compañía DOWELL SCHLUMBERGER, que ha alcanzado un alto grado de desarrollo tecnológico.

Los tipos de cementación son:

- a) Cementación primaria
- b) Cementación forzada (squeeze cementing)
- c) Colocación de tapones (Tapón balanceado)
- d) Nuevas técnicas especiales de cementación

a) CEMENTACION PRIMARIA

Esto incluye la cementación de todos los caños de superficie ó conductores, tubería intermedia, tubería de revestimiento y tubería corta de producción. Como se muestra esto tiene muchas complicaciones durante las operaciones y para tener un mejor control deberá de prepararse un diseño adecuado del fluido de cementación a usarse; pero este diseño de fluido de cementación esta afectado por una serie de factores siendo los siguientes los que influyen ó afectan en mayor grado:

TIEMPO DE BOMBEABILIDAD O ESPESAMIENTO (THICKENING TIME)

Esto viene a ser el tiempo en que el fluido de cementación permanece en estado líquido y es bombeable. Generalmente se considera hasta que cuando la mezcla adquiere una consistencia de 100 unidades ó poises y asimismo se considera 70 unidades de consistencia ó poises como la máxima viscosidad bombeable. En la práctica, el tiempo de bombeabilidad es el máximo plazo que el operador dispone para mezclar el fluido de cementación, bombearla y desplazarla hasta el tope de profundidad

requerido para el pozo en forma particular. Si el cemento se espesa demasiado (lo cual se observará en superficie por una aguda subida de presión) no se podrá bombear y habrá que reperforarlo primero y completar el trabajo, luego con la consiguiente pérdida de tiempo y dinero. El tiempo de bombeabilidad esta afectado por:

Temperatura, a medida que sube la temperatura, la velocidad de la reacción (hidratación) del cemento se acelera y el fluido de cementación se espesa más rápido, por lo que el tiempo de bombeabilidad es menor.

La temperatura estática del fondo del pozo (BHST) es la que alcanza el fondo del pozo cuando ha estado cerrado durante un periodo de tiempo lo suficientemente largo como para reflejar la temperatura de la formación.

Temperatura de circulación del fondo del pozo (BHCT) es la que alcanza en ese punto (fondo del pozo) cualquier fluido que esta siendo circulado y será siempre menor que la BHST porque el fluido mismo ejerce una acción refrigerante.

Presión, a pesar de que es menos pronunciado, un aumento de presión también reducirá el tiempo de bombeabilidad del fluido de cementación.

El efecto conjunto de la presión y la temperatura puede entonces sintetizarse diciendo que el tiempo de bombeabilidad de un fluido de cementación se reducirá cada vez que aumentemos la profundidad del pozo.

PROFUNDIDAD DEL POZO

Como se mencionó anteriormente un aumento de profundidad influye directamente en el tiempo de bombeabilidad puesto que ha mayor profundidad será mayor la presión y la temperatura, esto requiere por lo tanto un tratamiento con aditivos retardadores de fraguado.

VISCOSIDAD Y CONTENIDO DE AGUA DEL FLUIDO DE CEMENTACION

En las cementaciones primarias, los fluidos de cementación deben poseer una viscosidad ó consistencia que ofrezcan un desplazamiento eficiente del lodo de perforación y permita una buena adherencia del cemento con la formación y la cañería. Para lograr este objetivo los fluidos de cementación deben ser mezclados con una cantidad de agua que genere un volumen de cemento fraguado igual al volumen del fluido de cementación sin separación de agua libre . Influyen en la cantidad de agua de mezclado el tamaño del cemento (granos) y los aditivos .

RESISTENCIA DEL CEMENTO PARA SOPORTAR LA CAÑERÍA

Un vez que el fluido de cementación a fraguado, deberá ser suficientemente fuerte para cumplir las siguientes funciones:

- * Proveer punto de apoyo para la tubería de revestimiento
(en especial si el caño es guía).
- * Mantener firmes las piezas inferiores para evitar desenrosques cuando sean perforados el collar y el zapato guía. Adicionalmente a la soldadura con puntos ó porta soldante de los 10 primeros tubos.
- * Permitir ser punzado por las cargas de profundidad y mantener abierto los canales punzados.
- * Aislar la cañería de forma que las presiones y diferentes fluidos no se comuniquen entre sí.

La resistencia a la compresión se mide en lbs/pulg² (psi) y nos indica la fuerza necesaria (en libras) para romper una muestra de cemento fraguado de un área dada (en pulgadas cuadradas). Por lo general, se considera que la mínima resistencia a la compresión que se requiere para perforar ó punzonar un cemento debe ser de 500 psi. El tiempo de espera hasta que alcanza este punto es conocido como tiempo de fragüe del

cemento (W.O.C. waiting on cementing)• En los albores de la Industria este W.O.C. era de 28 días; pero a partir de 1920 se ha **reducido** con la incorporación de aditivos. En la actualidad se puede diseñar un fluido de cementación que fragüe entre 4 y 24 horas, siendo los más comunes aquellas cuyo W.O.C. varía de 8 a 12 horas.

FLUIDOS DE PERFORACION Y ADITIVOS

Estos afectan fundamentalmente en :

* Remoción durante la cementación, el lodo deberá tener determinadas características para que sea removido eficientemente de lo contrario podría dar lugar a canalizaciones del cemento y otros problemas.

* Contaminación del fluido de cementación, si no se utilizan medios aislantes (espaciadores) el lodo contaminará al cemento y afectará fundamentalmente a su resistencia.

DENSIDAD DEL FLUIDO DE CEMENTACION Y RENDIMIENTO

La densidad del fluido de cementación es el peso por unidad de volumen . En efecto a veces hablaremos de lechadas más livianas ó más pesadas que otras. Las unidades más comunes son la libra por galón, libras por pie cúbico y el sistema métrico kilogramo por litro.

El rendimiento nos indica que el volúmen de la lechada se obtiene a partir de un volumen dado de cemento seco más aditivos mezclados con la cantidad de agua correspondiente. Las unidades más comunes son pie cúbico ó litro por saco .

Por lo general un cambio de la densidad traerá apareado una variación del rendimiento; así una lechada más liviana requiere más agua y el rendimiento es mayor, mientras que una lechada pesada, que lleva menos agua rinde menos.

Razones para cambiar la densidad y el rendimiento

a) Economía, una lechada liviana, con un alto rendimiento es obviamente más barata que una de cemento puro, por que se necesitará menos cemento para obtener el mismo volumen de lechada; esto acarrea como desventaja, que la resistencia a la compresión del cemento fraguado sea menor.

b) Control de presiones; un cambio de densidad de la lechada implica una variación de la presión hidrostática que ejerce la columna de cemento. Sí tenemos una zona que podría ser fracturada por una presión hidrostática, causaríamos una pérdida de circulación, en esos casos será necesario una lechada más liviana. Por otra parte en el caso de que existiera una zona de alta presión (petróleo, gas ó agua) usaremos una lechada más pesada a fin de controlarla.

El problema se presenta cuando aparece una zona de alta presión y una formación débil al mismo tiempo y en estos casos la densidad es crítica, ya que un pequeño incremento de la misma puede ser suficiente para que el pozo entre en pérdida, y una leve disminución de la densidad, puede terminar en la pérdida del control del pozo. Esta situación particularmente durante la perforación es una posible causa de reventones (blowouts).

c) Resistencia a la compresión; las lechadas pesadas, especialmente aquellas que se obtienen por reducción de agua de mezcla, desarrollan normalmente una mayor resistencia a la compresión que las lechadas livianas.

PERDIDA DE FILTRADO

Sí colocamos un volumen dado de lechada bajo presión contra una malla fina, el agua junto con los aditivos solubles va a salirse de la lechada y pasar a través del filtro, mientras que el cemento

deshidratado y los sólidos no solubles quedarán atrapados por la malla, fluido que logra " salir " de la lechada es lo que conocemos como filtrado. En el pozo se produce el mismo efecto cuando la lechada encuentra una formación permeable, la formación actúa como un filtro y la hidrostática ejercida sobre la lechada es mayor que la presión de formación (si no el pozo se " vendría "). Esta presión diferencial forzaría el agua (filtrado) de la lechada, dentro de los poros de la formación, dejando las partículas sólidas de cemento dentro del pozo. Las lechadas de cemento puro tienen un filtrado relativamente alto, pero existen aditivos que reducen el mismo, y se los emplea por las siguientes razones :

- a) La lechada permanece más uniforme y sus propiedades no se alteran.
- b) Cuando una lechada pierde agua se pone más viscosa; para poder bombearla se requerirá una mayor presión y esta podría llegar a ser tan grande como para fracturar una formación y hacer que el pozo entre en pérdida de circulación .
- c) El cemento deshidratado puede obstruir parte del espacio anular permitiendo que quede lodo en esa zona, es decir que la lechada se canalice y no se obtenga ligazón del cemento con la tubería de revestimiento y la pared del pozo, lo cual se puede verificar en el registro C.B.L..
- d) El filtrado que penetra en zonas permeables que son potenciales formaciones productivas podría dañar las mismas y reducir su permeabilidad cerca de la pared del pozo.
- e) Si la pérdida de agua es grande, el volumen de la lechada se reduce y la altura de cemento en el espacio anular será menor.
- f) Recientes investigaciones han demostrado que el uso de reductores de filtrado en altas concentraciones es efectivo para controlar la entrada de gas a la lechada antes de que fragüe.

RESISTENCIA A LA PERDIDA DE CIRCULACION

El filtrado es la pérdida de agua de la lechada, contra una zona permeable, y aunque ello ocurra no se pierde la circulación del pozo. La pérdida de circulación en cambio, significa que todo el fluido penetra dentro de una formación y no haya retorno a la superficie. Esto puede ocurrir en formaciones que tienen grandes y largos poros; sin embargo aunque los poros fueron grandes la interconexión de los mismos generalmente es más pequeña que las partículas sólidas de cemento y éstas deberían obturar los mismos. De la misma manera, las fracturas naturales de una roca no son tan grandes como para no poder taparlas con los sólidos.

Por lo general los problemas de pérdida se producen durante la perforación y en esos casos se puede llegar a necesitar un tapón de cemento frente a la zona problema, si los aditivos para la pérdida de circulación del lodo no dan resultado favorable.

En el momento que se baja la tubería de revestimiento, la máxima presión que aceptará el pozo sin entrar en pérdida deberá ser conocida. Esto se logra por medio de una prueba de filtración (leak. off test), esta prueba se hace de la siguiente manera :

* Se levanta la herramienta unos metros del fondo, se cierra el B.O.P. y se bombea lentamente.

* La presión irá subiendo hasta que se llegue a un punto en que baja bruscamente debido a que se ha creado una " fractura " , rotura de la formación por donde escapa el fluido. Se registrará la máxima presión obtenida, por lo tanto la presión en el fondo será igual a la suma de la presión de superficie más la hidrostática . Conociendo la densidad del fluido que hay en el pozo, podemos determinar la máxima densidad que podría alcanzarse antes de fracturar la formación. Existen otros

factores adicionales a la forma como se desplaza el lodo, para lo cual en el diseño se debe de estudiar los siguientes factores que tienen gran incidencia en los resultados de la cementación.

a) GEOMETRIA DEL HUECO

Se debe de tratar de tener continuidad en la geometría del pozo, esto puede lograrse, evitando el flujo turbulento del lodo durante la perforación para lo cual debemos tener que la velocidad promedio sea menor que la velocidad crítica y también aumentando la viscosidad del lodo.

b) CENTRALIZACION DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

Para analizar este factor cabe mencionar que existen fuerzas de atracción entre los planos de contacto: lodo-formación y lodo-casing. Cuando el casing no esta centralizado los efectos de resistencia de estas fuerzas de contacto no son uniformes a través del área anular por donde circula el lodo. Al aumentar la descentralización se incrementa la probabilidad de dejar lodo en la sección estrecha.

c) MOVIMIENTO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

La fuerza de contacto y la distribución de los mismos entre el lodo y la tubería de revestimiento se puede alterar mediante el movimiento de la tubería de revestimiento , con los siguientes métodos:

* Rotación; ayuda la remoción del lodo y el cemento es prácticamente empujado dentro de la reducción del espacio anular.

* Reciprocación; la reciprocación afecta la velocidad en el anular y la presión sobre la formación, este movimiento solo es aconsejable en los casos de flujo laminar y turbulento y no se debe hacer en flujo tapón.

d) ACONDICIONAMIENTO DEL LODO

Durante este proceso se debe reducir la consistencia del gel del lodo y así como la viscosidad plástica del lodo para mejorar la remoción. Como regla práctica y experiencia la circulación de dos veces el volumen del lodo en circulación es suficiente para remover lodos viscosos remanentes.

e) EVITAR REACCIONES ADVERSAS ENTRE LODO-CEMENTO

Los efectos posibles de una contaminación son:

- * El tiempo de fragüe del cemento puede ser retardado ó acelerado.
- * Se reduce la resistencia a la compresión del cemento.
- * Aumenta el filtrado.
- * Se forma una masa inbombeable (especialmete severa con los lodos a base de petróleo) .

Como ya se ha destacado, las funciones específicas del lodo y del cemento en el pozo son diferentes y por ende se los diseña por separado para cumplir sus objetivos, es decir, no diseñamos una lechada que contraste los efectos de la contaminación pero sí trataremos de mantener el lodo separado del cemento en la mayor medida posible.

Dentro del casing no es problema, ya que disponemos de los tapones de cementación que van delante de la lechada, aunque estos tapones inferiores no siempre se pueden usar (limitaciones de un liner ó una cementación por etapas) pero en el espacio anular necesitamos algo más.

Por ello se han creado los colchones lavadores y los espaciadores que evitan el contacto físico entre el lodo y el cemento, pero antes de usarlo se debe asegurar mediante pruebas de laboratorio que los sistemas

lodo-separador-cemento son compatibles.

b) CEMENTACION FORZADA (SQUEEZE CEMENTING)

La cementación a presión ha sido definida como " trabajo, realizado en un pozo para forzar una mezcla de cemento, bajo una presión, en un punto específico del pozo o la formación. La cementación a presión puede realizarse durante la perforación, en pozos terminados recientemente ó bien mucho más tarde.

He aquí algunas razones para cementar un pozo a presión :

1. - Reparar un trabajo de cementación; en caso de canalizaciones, aumento de la abertura de la columna de cemento, agregar cemento al zapato de la tubería de revestimiento ó solucionar un problema de cementación en una tubería de revestimiento.
2. - Durante la perforación, la cementación a presión se usa para sellar la pérdida de circulación, cerrar la formación de alto contenido de agua ó estabilizar el estado de la formación mientras se perfora.
3. - Durante las operaciones posteriores, una cementación a presión es utilizada para reducir las relaciones de gas-petróleo, cerrar el gas o agua, bloquear a presión una formación para protegerla de futuras fracturas o acciones de ácidos, para abandonar zonas depletadas, para reparar escapes en la tubería de revestimiento.

Antes de realizar un trabajo de cementación a presión se debe considerar:

- a) Tipo de fluido en el pozo.
- b) Tipo de herramienta de cementación.
- c) Cantidad y tipo de cemento a utilizar o emplear.
- d) Técnica de inyección y presión de inyección.

Es muy importante la apropiada preparación del pozo antes de cementar. En un pozo entubado, el revestimiento debe estar limpio para facilitar el deslizamiento de la herramienta de cementación a utilizar (obturador ó tapón puente). En un pozo en perforación es necesario el acondicionamiento del lodo para permitir la colocación adecuada del cemento.

Si el pozo es cementado a presión como parte de un programa deberá evitarse que ingrese lodo ó agua dulce a la formación.

La tubería de perforación o tubería de producción a usarse durante la inyección deberán ser aptos para resistir la presión de inyección prevista. Para el cálculo del volumen de la tubería, es esencial su medición precisa.

En la cementación forzada, la lechada de cemento es sometida a un diferencial de presión contra la formación, la cual de acuerdo a su permeabilidad originará la deshidratación de las partículas de cemento al perder parte de agua de mezcla, formándose una costra de cemento que es la que genera el sello; a fin de lograr lo expuesto, debe considerarse en la lechada los siguientes factores:

a) CONTROL DE PERDIDA DE FILTRADO

La pérdida de filtrado es importante en una cementación forzada. Cuando el cemento es forzado frente a un medio permeable la presión diferencial separa el agua de los sólidos del cemento formando una costra de filtrado. El espesor de la costra depende sobre todo de la permeabilidad de la costra ó de la formación, de la pérdida de agua de la lechada y de la presión diferencial.

Un cemento de alta pérdida de filtrado bombeado para forzar una zona baleada, puede deshidratarse tan rápidamente frente a las perforaciones

superiores, generando nodulos excesivamente grandes que podrían bloquear el revestimiento e impedir la aplicación de cemento a presión a las perforaciones inferiores.

Si la pérdida de fluido es demasiado baja, dejará un cemento mal deshidratado en el túnel de la perforación que puede ser removido durante el proceso de inversión de la circulación, a más tardar cuando sea sometido a una presión diferencial negativa.

Un apropiado diseño de la lechada deberá permitir el completo llenado de las cavidades de las perforaciones, dejando un nódulo estructurado dentro de la tubería de revestimiento. Obsérvese en la fig. 4.

El valor óptimo de pérdida de filtrado para trabajos de squeeze depende de la permeabilidad de la zona a tratarse, como por ejemplo:

* Para bajas permeabilidades valores de 100-200 cc/30 min son aceptables

* Para altas permeabilidades valores de 100-50 cc/ 30 min son aceptables

Generalmente altas pérdidas de filtrado son usadas para sellar zonas fracturadas ya que se requieren la formación rápida de la costra de cemento.

b) VOLUMEN DEL FLUIDO DE CEMENTACION

El volumen de cemento a ser usado depende de la longitud del intervalo a ser cementado y de la técnica a ser usado.

En squeeze a baja presión el volumen es esencialmente pequeño, lo suficiente para llenar las perforaciones y el volumen de la tubería de revestimiento en frente de estos. Un exceso de cemento puede ser diseñado de acuerdo a la experiencia del área.

En el forzamiento de la mezcla a alta presión es difícil calcular porque

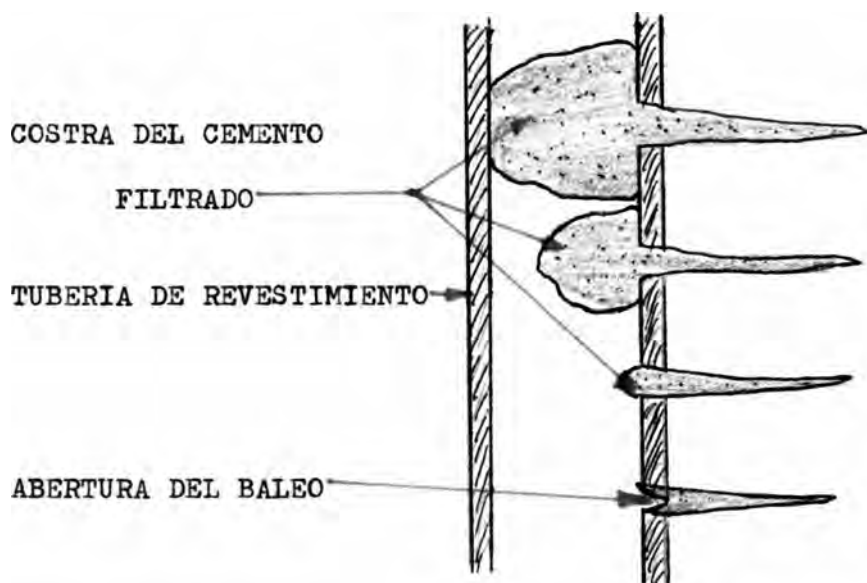
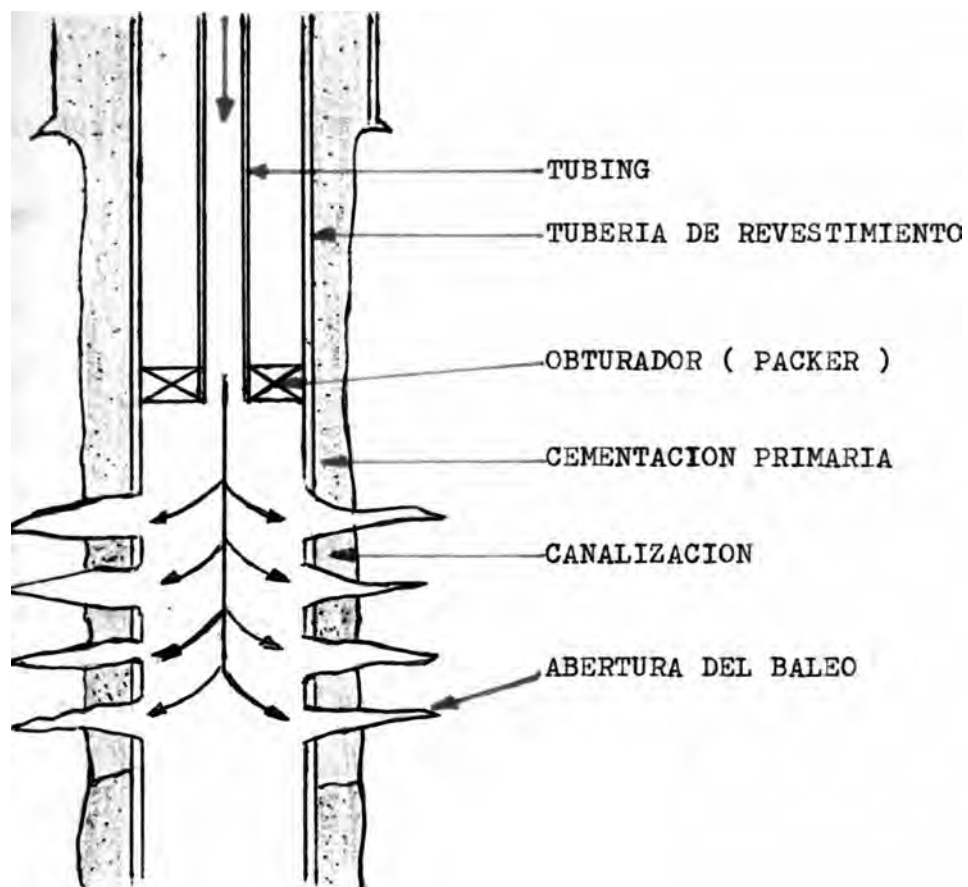


FIG. No. 4

el volumen depende de la geometría de fractura creada.

c) TIEMPO de bombeabilidad

Depende de muchos factores como la permeabilidad de la formación, profundidad, temperatura, etc,. Sin embargo es recomendable tener suficiente tiempo de bombeabilidad para alcanzar todos los punzonados con la lechada, formar la costra y circular hacía afuera el exceso, un margen mínimo de seguridad debe añadirse para zonas de baja permeabilidad, unas 3 ó 4 horas pueden ser considerados.

TECNICAS DE CEMENTACION FORZADA

La cementación forzada puede ser realizado de dos maneras ó técnicas, dependiendo de la forma en que se va, a colocar el cemento detrás de la tubería de revestimiento.

1) FORZAMIENTO A BAJA PRESION

Esta técnica es de amplio uso por ser la más segura y consiste en el bombeo de la lechada de cemento , de filtrado controlado contra la zona a ser tratado ó remediada sin llegar a fracturarla, aplicándose la presión solamente con el objeto de formar una costra deshidratada de cemento en las perforaciones y canales abiertos. Dentro de esta técnica los trabajos más comunes son : bloqueo y bradenhead.

2) FORZAMIENTO A ALTA PRESION

En esta técnica se requiere fracturar la formación, entonces el cemento es bombeado a través de la fractura a bajo rate hasta que ocurra la deshidratación completa y se logre la presión de superficie deseada.

Esta técnica es realizado por un packer que se asienta con el propio tubing o con un cable, el mismo puede ser reperforable, permanente o recuperable, este último es bajado con el tubing fijado y liberado

tantas veces como se desee. Algunas razones de usar esta técnica son :

- * Es posible lograr presiones más altas que con el baja presión.
- * **Mejor** control sobre la colocación del cemento.
- * pueden usarse distintos sistemas de bombeo y distintas técnicas.

c) COLOCACION DE TAPONES (TAPON BALANCEADO)

Este tipo de cementación no tiene uso específico y se puede usar en diversidad de casos. Se basa en un balance de presiones hidrostáticas del anular y la tubería.

Lo importante es calcular correctamente el volumen del espaciador a ser bombeado detrás de la lechada, está asegura que la columna de fluido en el anular (lodo, espaciador, lechada de cemento) este adecuadamente balanceado por la columna de fluido en el tubing (lodo, espaciador, otro fluido, cemento).

Una vez que el tapón de cemento es colocado, el tubing es levantado del tapón, luego se circula de forros a tubos, esta operación corta el tapón de cemento en la altura deseada ó predeterminada.

El tipo de cementación de tapón balanceado es usado generalmente para los siguientes casos *

- * Aislar zonas de agua en el fondo del pozo
- * Colocación de un tapón de cemento para aislar formaciones depletadas
- * zonas abandonadas
- * pérdida de circulación, es decir para el control de este problema durante la perforación.
- * Cuña desviadora, ya sea para corregir la desviación del pozo ó para control un pozo direccional.

Con las especificaciones de peso y diámetro del tubing se calcula el

volumen requerido. Con los diámetros del pozo y el largo de los tapones a colocar junto con el número de tapones nos permiten calcular la cantidad de cemento. El propósito del tapón y la temperatura del pozo nos indicarán el tipo de cemento y sistema de mezcla a usar. Finalmente con datos del tipo de fluido, su peso en el pozo y peso de la mezcla nos **permitirán** calcular el volumen de mezcla y fluido de desplazamiento necesario para balancear el tapón a colocar en el pozo.

Existen tres métodos de colocación de tapones : tapón balanceado, llenado por vertedero (dump bailing) y el método de dos tapones, dentro de estos el más común es el de tapón balanceado por que es más económico respecto a los otros dos , además de tener menos limitaciones que los otros dos métodos.

1.5.- NUEVAS TECNICAS DE CEMENTACION

Las lechadas de cemento son fluidos plásticos no newtonianos, los cuales poseen patrones de flujo diferentes. En lo que se refiere al trabajo de campos petroleros, nos conciernen tres regimenes de flujo de desplazamiento del cemento. Estos regimenes son : flujo turbulento, flujo laminar y flujo tapón.

Se ha determinado por medio de pruebas de laboratorio y de experiencias de campo que los mejores trabajos de cementación se obtienen con flujo tapón ó turbulento. Hay varios factores involucrados en la determinación del patrón de flujo que experimentará la lechada de cemento. Si se conocen los tamaños del hueco y la tubería, las densidades del lodo y el cemento, la viscosidad del cemento y velocidad de bombeo, se puede diseñar el patrón de flujo para que el pozo sea cementado.

A continuación se describen algunas de las nuevas técnicas de servicio de cementación desarrolladas por la Dowell Schlumberger.

a) TECNICA DEL SERVICIO DE CEMENTACION DE FLUJO LENTO (SLOFLO)

Una lechada de cemento moviéndose en flujo tapón puede desplazar de manera efectiva el lodo de perforación. La adherencia del cemento con la tubería y las superficies de la formación del pozo es esencial para que las operaciones de producción y estimulación sean satisfactorias. La mayoría de las fallas de adherencia en el cemento son debidas a la remoción incompleta del lodo de perforación.

La técnica del servicio de cementación Sloflo usa velocidades de desplazamiento lentas y algunas veces agentes gelificadores, para hacer que la lechada de cemento se mueva en flujo tapón. Este procedimiento ha resultado satisfactorio en cuanto a la remoción, permitiendo una

buena adherencia y trabajos de cementación satisfactoria.

Esta técnica mejorada depende del control de las propiedades del flujo del cemento. Con el fin de lograr una máxima remoción del lodo, el cemento debe tener una densidad y una resistencia de gel que sea más altas que las del lodo. Un aditivo de gelificación (D71), se puede agregar a la lechada de cemento para garantizar la resistencia de gel inicial de modo que permanezca en flujo tapón y actúe como un pistón para eliminar el lodo del espacio anular.

El éxito del servicio de cementación Sloflo depende del control de cuatro factores:

1. La velocidad de la lechada de cemento y espaciador.
2. El efecto de flotabilidad (diferencia de peso entre lechada y lodo).
3. Las propiedades de flujo (diferencia de la resistencia de gel inicial entre la lechada de cemento y el lodo).
4. Disposición de las tuberías y condiciones del pozo.

La velocidad de bombeo de la lechada de cemento se mantiene a 90 pies/min o menos en el espacio anular. Si la velocidad del cemento sobrepasa los 90 pies/min, la lechada pasará de largo por el lodo debido al impulso de la lechada. La máxima velocidad de bombeo permitida (90 pies/min) se puede calcular a partir de lo siguiente :

$$BPM = 0.0874 (Dh - Dp)e$$

donde :

BPM = máxima velocidad de bombeo en barriles por minuto para Sloflo

Dh = menor diámetro del pozo, pulgadas

Dp = diámetro externo de la tubería, pulgadas

El efecto de tubo en " U " se ha considerado con frecuencia un factor

limitante para el servicio de cementación Sloflo. Sin embargo los cálculos demuestran que en la mayoría de los casos la velocidad del cemento sobrepasará los 90 pies/min debido a la fricción del cemento contra la superficie de la tubería.

Las propiedades de flujo y efecto de flotabilidad del lodo y el cemento tienen un efecto combinado en la eficiencia de desplazamiento del lodo. En general, la eficiencia en la remoción del lodo aumenta a medida que aumenta el peso y la fuerza de gel de la lechada de cemento.

PLANIFICACION Y PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO

1. Determine el mejor sistema de cementación que se puede usar en un pozo en particular. El sistema debe tener, en primer lugar, un tiempo de espesamiento adecuado.
2. Determine el peso y la resistencia de gel inicial que se ha de desplazar.
3. Determine el peso y la resistencia de gel inicial que permitirá una máxima remoción de lodo. Si la lechada de cemento principal no tiene un esfuerzo de gel suficientemente alta, proyecte gelificar una porción de cemento para hacer un espaciador.
4. Determine la cantidad de agua de mezcla y agente gelificador que se requiere producir por lo menos 200 pies anulares de lechada de cemento con la resistencia de gel apropiada.
5. Planifique hacer correr espaciador .
6. Mezcle y bombee el cemento en el espacio anular a 90 pies/min ó menos.

APLICACIONES

La técnica Sloflo es práctica en :

- 1.- cuando existen secciones de diámetros muy grandes o

- irregularidades en el pozo a cementar.
2. - Cuando hay peligro de fracturar la formación por presión de fricción.
 3. - Cuando se están colocando tuberías de revestimiento múltiples.
 4. - Cuando se está cementando tubería corta de revestimiento de producción.
 5. - Cuando se están colocando tapones de cemento.

b) SERVICIO DE CEMENTACION PARA POZOS DE GAS (GASBLOK)

El servicio Gasblok de Dovell Schlumberger está diseñado para prevenir la migración de gas en el cemento no fraguado, y es aceptado ampliamente en la industria como la principal solución de este problema. La técnica fue considerada como el mayor avance tecnológico cuando fue introducida por primera vez en 1982. Desde esa fecha no ha sido igualada por ningún otro concepto de servicio. Prueba de esto son las miles de aplicaciones realizadas exitosamente alrededor del mundo. Subsiguientes investigaciones y desarrollos han resultado en muchas nuevas aplicaciones: la prevención de la migración de gas en pozos conteniendo sal, en pozos profundos de alta temperatura y en zonas de gas poco profundas donde las presiones de fractura son bajas.

Para prevenir la migración de gas y sus problemas asociados, el siguiente procedimiento del servicio Gasblok (aditivo) debe ser implementado : Una lechada de aditivo Gasblok completamente dispersa debe ser colocada en la zona que va a ser aislada. Luego, si una invasión de gas ocurriera causando la unión de las partículas del aditivo Gasblok. Esto dará como resultado la formación de una película impermeable. Entonces el aditivo gasblok unirá físicamente las parcialmente hidratadas partículas de cemento antes que el cemento esté totalmente fraguado, previniendo por lo tanto cualquier migración futura de gas que pudiese ocurrir.

Beneficios del aditivo Gasblok

El concepto del aditivo Gasblok combina todas las propiedades cruciales del cemento en una sola lechada con las siguientes características y beneficios: Excelente dispersión a través de métodos mecánicos y químicos, control de filtrado menor a 50 ml/30 min de acuerdo a la especificaciones API SPEC 10, no existe sedimentación, impermeabilidad a la invasión de gas durante el periodo de fragüe, el tiempo de transición entre las fases líquida y sólida es corto, incrementa la adhesión y la unión . Mejor aislamiento de la zona, resultante de su alta flexibilidad, mejor fuerza de resistencia a la tensión y reducida permeabilidad, proveyendo mayor resistencia a la degradación química y mecánica.

El Diseño con aditivo Gasblok

Un amplio rango de sistemas está al alcance del operador para la aplicación del servicio Gasblok los que ajustarán esencialmente a cualquier condición del pozo. En el diseño de un tratamiento con gasblok, primero se analiza las variables particulares del pozo como la presión de fondo, geometría del pozo y la localización de las zonas de gas a ser cementadas. Seguidamente se selecciona el sistema Gasblok que se ajusta a sus necesidades.

Sistemas con aditivos Gasblok

Standart : 13.5 a 17.0 lb/gal. y BHCT menor de 270°F .

Estabilizado : para aguas saladas hasta 300°F .

Liviano : de 10.0 a 13.0 lb/gal. usando Litefil:

Alta densidad : de 17.0 a 20.0 lb/gal.

Alta temperatura : BHCT de 250 a A00°F .

El concepto de una buena remoción de lodo está completamente ligado al

diseño básico del servicio Gasblok, porque sin él, una aislación efectiva de la zona no podrá lograrse. a centralización adecuada es esencial para este particular concepto de diseño, así como acondicionamiento del lodo, escoger los lavadores y espaciadores apropiados, control exacto de los regímenes de flujo, movimiento de la cañería y el uso de los tapones de fondo y tope .

El servicio con aditivo gasblok puede ser usado exitosamente en un amplio rango de situaciones. Hoy en día, se ha trabajado con densidades desde 11.5 a 20.0 lb/gal. a temperaturas tan altas como 390CF, en agua salada de mezcla al 18% BWOW y a profundidades mas grandes que de 20,000 pies.

SERVICIOS CON ADITIVOS ZONELOCK S Y ZONELOCK SC

Muchas formaciones producen grandes cantidades de salmuera mientras que otras débiles que resultan en pérdida de circulación. Los servicios con aditivos Zonelock S ó Zonelock SC pueden usarse efectivamente en estas situaciones para sellar la zona problema.

El servicio con aditivo zonelock S rápidamente forma una masa gelatinosa cuando el D813 es mezclado con salmuera de calcio con al menos 7000 mg/lt. de calcio ó salmuera de sodio con al menos 90,000 mg/lt. de sodio, aproximadamente 23% de cloruro de sodio (G.S. 1.16). Mejores concentraciones originarán que se quiebre o no se forme el gel. Esto anticipa que el aditivo zonelock está siendo efectivo en parar el flujo de salmuera durante las operaciones de perforación cuando va a ser sometido a una cementación forzada en la matriz de la roca. D813 puede ser bombeado a través de las toberas de las brocas de perforación.

Los servicios con aditivos Zonelock S (D813) y Zonelock SC (D814) se utilizan con soluciones de silicato especialmente preparadas con extendedor líquido D75. Puede usarse efectivamente para sellar

problemas de zonas de producción de salmuera ó pérdida de circulación .

El servicio con aditivo Zonelock S utiliza una solución D75 y agua, cuando esta solución entra en contacto con salmuera concentrada de sodio o de calcio, se forma un gel permanente capaz de sellar las zonas problemas.

El servicio con aditivo Zonelock SC utiliza la misma solución pero seguida por un espaciador y luego el cemento, cuando el cemento contacte con el gel resultante de las soluciones de D75 y cloruro de calcio, el cemento fraguará muy rápidamente. Un espaciador de agua fresca o una solución de fosfato trisódico , se debe usar siempre entre la solución de D75 y el cemento.

1.6.- ADITIVOS PARA LA CEMENTACION

(USADOS POR DOWELL SCHLUMBERGER)

Los principales aditivos son :

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1) aceleradores | 6) obturantes |
| 2) retardadores | 7) dispersantes |
| 3) extendedores | 8) gelificantes |
| 4) agentes de peso | 9) aditivos especiales |
| 5) reductores de filtrado | |

1) ACELERADORES

Se los emplea para acelerar el desarrollo de la resistencia a la compresión a fin de reducir el tiempo de espera de fraguado del cemento (W.O.C.). Desafortunadamente, reducen el tiempo de espesamiento, o sea que solamente se los podrá usar en aquellos casos en que dispongamos de suficiente tiempo para bombear la lechada a su lugar. Así, entonces tienen su mayor aplicación en las cementaciones del caño conductor o de cañerías guías no muy profundas donde las temperaturas son bajas y el tiempo de bombeabilidad es suficiente como para completar el trabajo sin sobresaltos.

Cloruro de calcio (CaCl₂), es el más común en uso en la actualidad. La óptima concentración es el 2% y como regla práctica podemos decir que en esta medida reduce el tiempo de bombeabilidad a la mitad y aumenta la resistencia a la compresión inicial entre un 50 y un 75%. Se lo emplea en concentraciones de hasta el 4% ya que mayor cantidad reducirá el tiempo de bombeabilidad, sin afectar el W.O.C.; y si pasáramos del 5% podríamos tener un fraguado instantáneo (flash set).

Otros aditivos aceleradores son: acelerador líquido **D77** que viene a ser una solución de 2% en agua que varía entre el 32 y 38% de cloruro de

calcio y la sal común (NaCl) que también puede usarse como acelerador en concentraciones menores del 10% pero no es tan efectiva como el cloruro de calcio.

2) RETARDADORES

Los retardadores se emplean para prolongar el tiempo de bombeabilidad de una lechada hasta por lo menos una hora más del tiempo de trabajo estimado, pero desgraciadamente, también demora el desarrollo de la resistencia a la compresión. La mayoría de ellos actúan recubriendo la superficie de las partículas de cemento con la cual se frena la reacción de hidratación .

Lignosulfonato de calcio (D13 y DS13), son retardadores en polvo y actualmente de mayor uso en las cementaciones en el Noroeste del Perú. Es compatible con todas las clases de cemento y con la mayoría de los aditivos, y puede ser empleado en pozos cuya temperatura de fondo no exceda de 200 F . La concentración normal que se usa varía entre 0.2 y 0.4% en peso. El tiempo de bombeabilidad y los datos de la resistencia a la compresión se puede sacar del manual, cuando se emplea D13 con cemento puro, pero si son incorporados otros aditivos entonces es conveniente ordenar una prueba de laboratorio. El D13 es un polvo marrón oscuro. A partir de D13 se puede obtener soluciones concentradas en agua que es usado como aditivo líquido. Estos aditivos actúan como dispersantes y reducen la viscosidad de la lechada de cemento y dan excelentes condiciones a las lechadas que contienen bentonita.

Existen otros retardadores tanto líquidos como en polvo así como para actuar a altas temperaturas siendo el rango entre 200 y 400 F .

3) EXTENDEDORES

Son usados para aumentar el rendimiento de la lechada de cemento y los

más comunes son:

Bentonita (**D20**); es mezclado en seco en proporciones de hasta el 20% en peso, reduce la densidad de la lechada desde 15.6 hasta 11.9 lb/gal, pero para obtener este cemento liviano y barato se debe sacrificar la resistencia a la compresión.

Extendedores químicos; estos reaccionan con la cal en la lechada o con el cloruro de calcio para formar silicato gelificado, y esta estructura mantendrá grandes cantidades de agua sin que la misma se separe. A pesar que son mas caros, se los usa en concentraciones mucho más bajas, lo cual muchas veces se traduce en un costo menor. Pero la ventaja fundamental es que a una determinada concentración de extendedor se puede lograr un amplio rango de densidades y por consiguiente de rendimiento; en cambio los otros extendedores determinan el rendimiento a cada concentración en que son usados.

D79; es un sólido blanco granuloso que se mezcla con el cemento en concentraciones de 0.25 y 3.0% en peso de cemento. No debe ser disuelto en agua dulce, pero sí se puede disolver en agua de mar o agua dulce a la que se ha agregado 3 libras por barril de cloruro de calcio. A mayor concentraciones el D79 tiende a disminuir el tiempo de bombeabilidad por lo que se deberá emplear una proporción menor si el trabajo a llevar a cabo es muy largo.

D75, es un extendedor líquido para lechadas de cemento diseñados principalmente para su uso donde la mezcla fue preparada con agua de mar. El uso de D79 y D75 aceleran el desarrollo de la resistencia a la compresión del cemento.

LITEFIL, es un aditivo de cementación de ultrabaja densidad para obtener densidades de lechada entre 9 y 12 lb/gal . Estas lechadas poseen un excelente desarrollo a la resistencia y producen cemento fraguado con

muy baja permeabilidad. Solo se requieren equipos de cementación convencional para mezclar en el campo las lechadas LITEFIL.

El aditivo utraliviano Litefil consiste de microesferas vacias, esencialmente inertes, con una gravedad específica de 0.7 . Así para una densidad de lechada la relación entre el cemento y el agua es mayor y desarrollo de la resistencia es por lo tanto mejorado.

Los beneficios que se obtienen al usar este aditivo son:

- * Lechadas en el rango de 9 a 12 lb/gal .
- * Resistencia a la compresión inicial elevada.
- * Alto rendimiento por saco de cemento
- * Baja permeabilidad y buen aislamiento del cemento fraguado.
- * Compatible con todos los tipos de cemento y aditivos.
- * No se requiere equipos especiales.

Aplicaciones de este aditivo :

- * Tubos de conductores / superficie
- * lechadas de baja densidad
- * Tapones de pérdida de circulación
- * Cemento aislador de baja densidad
- * Cemento termal de baja densidad
- * Cementación de una sola etapa de tuberías de revestimiento a través de zonas débiles.

4) AGENTES DE PESO

Se los emplea para aumentar la densidad de las lechadas, siendo los más comunes la baritina (polvo blanco amarillento), ilemita (granular negro), y la hematita (granular rojo cristalino). La baritina es un mineral compuesto de sulfato de bario. Ha sido usado durante mucho tiempo como un agente para aumentar la densidad de los lodos de perforación y las lechadas de cemento. La baritina requiere 0.024

gal/lb de agua de mezcla adicional mientras que la hematita sólo necesita 0.0023 gal/lb .

5) REDUCTORES DE FILTRADO

Se los agrega específicamente para reducir la pérdida de agua de una lechada, siendo los más comunes:

D60, es un aditivo standard para ser mezclado en seco en cementaciones, es un polvo blanco amarillento, se usa entre el 0.5 y 1.5% en peso.

D59(polvo blanco), es el equivalente al D60 para agua salada. Se mezcla en seco entre 0.5 y 1.0% de peso.

D73 y DS73 (líquido viscoso de color claro), es comunmente usado en concentraciones que van del 0.15 a 0.4 gal/saco .Estos aditivos son generalmente usados en cementación a presión y en trabajos de aislamiento.

6) OBTURANTES

Los obturantes de " primera generación " fueron designados a fin de tapar zonas de pérdida de circulación como fracturas o huecos a través de los cuales desaparecían las lechadas de cemento.

Estos aditivos son : fibrosos, granulares ejemplo: D24 (raphaelita) y D42 (kolita) y escamosos por ejemplo el D29 (celofán).

Los primeros son buenos para los lodos pero no para el cemento ya que por lo general retardan demasiado la hidratación. Los granulares tienen un tamaño de partícula que significativamente ayudan a obturar las fracturas. las escamas de celofán cubren la pared del pozo, son químicamente inertes y se les puede agregar a cualquier lechada. Existen otros aditivos obturadores que son usados en casos muy especiales.

7) DISPERSANTES

Los dispersantes actúan en la lechada, separando las partículas de cemento y suspendiéndolas uniformemente en el agua de mezcla. Esta separación resulta en una menor resistencia al movimiento y la mayor movilidad de las partículas sumada al efecto lubricador del " agua libre " proporciona una disminución considerable de la viscosidad. Esto nos ayuda a considerar a un flujo turbulento, lo cual es el propósito fundamental de los dispersantes, llamados también, reductores de fricción. Otro beneficio es que se consiguen lechadas más pesadas con bajo contenido de agua y permite el uso de Flac líquido. Entre los más comunes tenemos:

Polímeros D65; para mezclado en seco y D80 (solución acuosa de D65).

Acido orgánico D45 (para uso en sistema de cemento con agua salada).

El D65, es un polvo marrón claro que se usa por lo general en concentraciones que van del 0.5 al 1.5% en peso.

8) GELIFICANTES

D71, (agente para el servicio Sloflo), es una mezcla de agentes gelificantes y retardadores diseñados para incrementar la viscosidad de la lechada sin afectar la resistencia a la compresión o el tiempo de bombeabilidad. Ayudan a conseguir condiciones para el flujo tapón para la técnica Sloflo de D.S. , se agrega al agua y su concentración se expresa como un porcentaje del peso de agua (BWOW) y varía entre 1.5 y 2.5% . A menudo se lo utiliza como una lechada espaciadora delante del cemento principal. Sus limitaciones se deben a que producen altas viscosidades si no son controlados como es debido, no se pueden mezclar en aguas que tengan más del 3% de sal, en caso contrario deberá mezclarse en seco .

9) ADITIVOS ESPECIALES

D30 Y D66; Estos productos son sílice finamente divididas que se utilizan para prevenir la retrogresión de la resistencia en pozos profundos donde la temperatura es alta, ambos son conocidos como sílica flour y se usa en concentraciones del 35% del peso de cemento.

El Flac D603; es un agente líquido versátil para controlar la pérdida de fluidos, el cual es usado a bajas concentraciones para controlar efectivamente la pérdida de fluidos, afectando muy poco el tiempo de espesamiento.

Agentes antiespumantes D46 (polvo color canela) y D47 (Líquido transparente). El D46 se utiliza generalmente en las siguientes proporciones: por cada 100 sacos de cemento se debe de agregar 20 libras de este aditivo y el D47 que es un aditivo líquido se utiliza medio litro por cada 4 barriles de agua de mezcla ó también 0.008 gal/sx.

D53; este aditivo, contiene dentro de su composición un sulfato de calcio (CaSO_4) con un tratamiento especial. La reacción importante que éste protagoniza, es la combinación con la cal libre (CaO) que libera el cemento ordinario durante su contacto con el agua; resultado del cual se obtiene en forma prematura la formación de la molécula de sulfoaluminato de calcio, la cual no es perjudicial antes del proceso de fraguado.

La presencia del D53 dentro de la red cristalina del cubo de cemento, imparte propiedades de expansión , con lo que se elimina la formación de posibles microanillos, mejorando la adherencia del cemento a la formación y a la tubería. Actualmente se usa en una proporción del 8 a 10 % de peso.

2.- OPERACIONES DE CEMENTACION CON USO DE LA COMPUTADORA PACR

La unidad PACR (fig.5) es un sistema eficaz de adquisición de datos desarrollado por Dowell Schlumberger para el monitoreo y el registro durante las operaciones de bombeo (acidificación, cementación y otros).

2.1.- OBJETIVOS DE SU USO

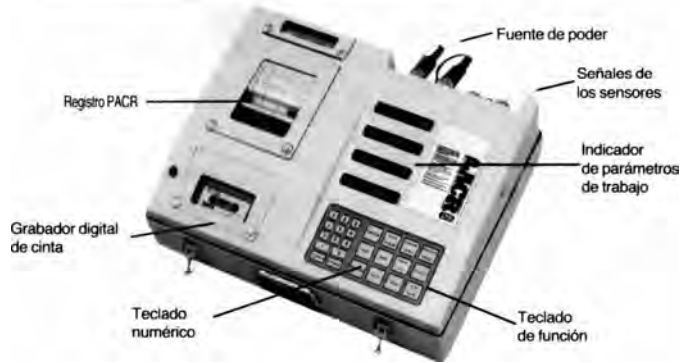
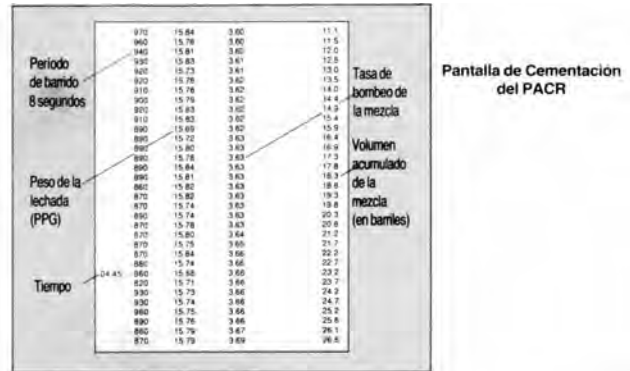
Mediante las cuatro unidades de datos (Display) y una pantalla gráfica de tiempo real continuo, la unidad PACR asegura un control de calidad sin pararelo sobre el trabajo realizado en el pozo.

La densidad de la lechada, el gasto y la presión quedan sujetas a un monitoreo y se pueden ajustar cuando sea necesario a fin de mantener el procedimiento de operación dentro de las especificaciones de diseño requeridas para el trabajo. Todas las entradas de datos se registran simultáneamente a intervalos variables en el registro de la PACR así como en la grabadora digital que indican las mediciones, ya sea en unidades inglesas o en unidades métricas.

El microprocesador de la PACR calcula y muestra en pantalla todos los volúmenes acumulativos. También se imprime el volumen total en el registro a intervalos de cinco minutos y se hacen unas marcas especiales por cada 10 barriles de bombeo ó en intervalos de 1 metro cúbico en el sistema métrico. Se trasmiten los datos a los tres conectores de señal de la PACR : los cuales cada uno tienen la capacidad de recibir las señales relativas a la información de densidad, presión y dos de gasto, esta manera, la unidad tiene la capacidad de monitorear dos configuraciones de equipos diferentes- dos unidades de cementación y dos bombas de pozo o tres unidades de cementación, por ejemplo.

FIG. 5

Simulación del diseño por computadora, equipo mezclador optimizado utilizado conjuntamente con sistemas de registro y supervisión para la ejecución y programas de computación aplicados para la evaluación, representan la más alta tecnología en Cementación disponible hoy en día en la industria petrolera.



Especificaciones

Potencia: 11V mínimo, 17V máximo, 3A corriente promedio, 4A corriente pico durante la impresión.

Señales de los sensores: Señal de presión 4-20mA señal (250 ohms), Señal de densidad 0-20mA señal (240 ohms), Señal de tasa de flujo 5-40V, frecuencia 0-400Hz.

Un conector RS-232 para diálogo con un terminal o computadora.

Registro PACR
La información enviada por los sensores es impresa directamente por la impresora térmica del PACR, ya sea en forma de registro o como tabla numérica.

Fuente de poder
Los bajos requerimientos de potencia de la unidad le permiten ser alimentada por una batería de camión de 12 V.

Sensores
Las señales de los sensores que indican presión, densidades y tasa de flujo de una operación, son introducidas al sistema mediante tres conectores de señal de 12 pines.

Indicadores LED
Cuatro indicadores LED muestran datos de cualquiera de 16 fuentes posibles.

Grabador de cinta digital
Todos los datos entrantes son grabados en cinta en su formato original. Los datos pueden ser transferidos a una computadora de oficina para producir un reporte completo.

Teclado
Un teclado numérico y 12 teclas de función opera el PACR.

2.2.- DESCRIPCION DEL SISTEMA

El registrador PACR (computadora de campo), está en una caja con tapa hermética y sus módulos periféricos principales son :

a) DISPLAY

Es una pantalla de diodos emisores de luz; contiene cuatro pantallas que reflejan los datos recibidos de cualquiera de las cuatro señales de entrada, cada uno tiene 10 caracteres alfa numéricas fluorescentes.

b) TECLADO

La unidad PACR se opera por medio de un teclado numérico (10 teclas), 12 teclas de funciones pre-programados y dos teclas para el control y diálogo con el microcomputador. Los sensores se calibran desde el teclado, las pantallas quedan con funciones asignadas y se ajustan a los parámetros de registro. Las mediciones provenientes de los sensores pueden ser mostradas en pantalla, ya sea en unidades inglesas o métricas.

c) GRABADORA DIGITAL Y CINTA

Todos los datos de entrada quedan almacenados en su formato original. Los datos se pueden vaciar a una computadora de oficina (microVax.II) con el propósito de elaborar un informe detallado. La cinta tiene la siguiente duración:

2 horas y 45 minutos con 1 segundo de intervalo de registro

11 horas con 4 segundos de intervalo de registro.

d) IMPRESOR (registro PACR)

La información transmitida desde los sensores queda registrada directamente por medio de la impresora electrosensitiva de la PACR, ya

sea en forma de registro o en tabla numérica. Entiéndase la forma de registro como un ploteo en líneas continuas según la variación de los datos que reciben los sensores de la computadora durante las operaciones de cementación.

e) SENSORES

Las señales de los sensores correspondientes a la presiones, densidades y gastos (caudales) de operación, se ingresan al sistema a través de tres conectores de señal de 12 pines. Una presión, una densidad y dos gastos quedan asignados a un canal en cada uno de los conectores. El sistema hace un rastreo de todos los canales y hace un cálculo de todas las válvulas de salida, cada segundo.

SENSORES DE PRESION, los transductores electrónicos de presión tienen los siguientes rangos de operación :

UNIDADES	INGLESAS	METRICAS
SPS-15	0 - 15,000 PSI	0 - 1000 Bars
SPS-20	0 - 20,000 PSI	0 - 1350 Bars

La presión aparece en la pantalla digital y se redondea a 10 psi (1 Bar). En vista que los transductores electrónicos de presión no cuentan con partes móviles, los requerimientos de mantenimiento y calibración son nulos. Se verifica la salida del sensor contra una calibración estándar cada seis meses.

SENSORES DE DENSIDAD, la señal de entrada proviene de un densitómetro tipo " C " de D.S. (o similar) y la pantalla de la PACR está completamentada con una pantalla digital en cada unidad de bombeo. La pantalla, a base de un microprocesador opera en el rango de 5 a 25 lbs/gal y la salida tiene la capacidad de mostrarse en unidades inglesas o métricas.

La densidad promedio de la lechada de las unidades de cementación se computa, aparece en pantalla y se registra. Antes, de cada operación en el pozo, se efectúa la calibración de los densitómetros, haciendo uso de las placas estándares de control de calidad.

SENSOR DEL GASTO (CAUDAL DE FLUJO), Realiza el cálculo de los gastos y de los volúmenes acumulativos en la PACR en base a las señales de entrada provenientes de unos switches electrónicos de proximidad instalados en las unidades de cementación y en las bombas del equipo. También cuenta con la facilidad de conectarle un molinete hidráulico en línea (ej. un molinete magnético).

La calibración del flujo se realiza en el taller o en el mismo pozo mediante la verificación contra un molinete estándar, un tanque calibrado y un contador electrónico de pulso.

Todos los parámetros pueden aparecer en pantalla o impresos en unidades inglesas o métricas, como se muestra a continuación :

UNIDADES	INGLESAS	METRICAS
Presión	psi	bar
Densidad	lb/gal	Kg/cm ³
Gasto (caudal)	bbl/min	L/min
Volumen acumulado	Barriles	m ³

f) FUENTE DE ALIMENTACION

Los requerimientos tan bajos de alimentación hacen posible que la unidad opere a partir de una batería de camión de 12 V . También cuenta con una fuente interna de alimentación en caso que hubiese una falla en la fuente externa, lo que permite que no haya pérdida de información ni interrupciones en las operaciones de registro.

Asimismo es importante señalar las siguientes especificaciones :

- * Fuente de alimentación: 11 V mínimo y 17 V máximo
 - 3 A de corriente promedio
 - 4 A de corriente pico en operaciones de impresión.
- * Entradas de sensores
 - señal de presión: señal de 4 - 20 mA (250 Ohms)
 - señal de densidad: señal de 0 - 20 mA (250 Ohms)
 - señal de frecuencia de gasto: 5 - 40 V , 0 - 400 Hz
- * Un conector RS-232 para entablar el intercambio de información con un terminal o una computadora
- * Batería interna de reserva 12 V 1.8 Ah .
- * Temperatura de operación : - 20 C , + 70 C
- * Vibración de 5 g hasta 100 Hz
- * Es un sistema a prueba de agua, arena y polvo .
- * Dimensiones
 - longitud : 560 mm
 - Ancho : 446 mm
 - Altura : 206 mm
- * peso : 21 Kg.

2.3.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Antes de describir el funcionamiento del sistema es conveniente mencionar el significado del nombre de éste computador de campo, PACR (Pumping Acidizing Cementing Register), lo cual; significa que es un registrador de bombeo para la cementación y acidificación; como se puede ver su nombre deriva básicamente a partir de su utilidad, para lo cual ha sido diseñado y fabricado en forma exclusiva por la compañía Dowell Schlumberger, que con la introducción de este computador ha mejorado los servicios de bombeo frente a otras compañías que operan en la Industria del petróleo a nivel mundial, siendo pues su más reciente avance de desarrollo la nueva versión (cuarta versión del PACR) que es usado para trabajos de fracturamiento de pozos en adición a las operaciones antes mencionados como lo son la cementación y la acidificación de pozos.

Las señales de presión, densidad y caudal de bombeo entran en el PACR por tres conectores de 12 pines. El PACR convierte estas señales en unidades de Ingeniería (psi, lb/gal, BPM), también computa la densidad promedio de las tres unidades y el caudal total.

La práctica sobre el PACR para trabajos de cementación implica los siguientes procesos:

- a) rutina de encendido
- b) calibración de cursores
- c) impresión del simbolo del PACR (encabezado)
- d) selección del modo de impresión durante la operación
(gráfico o listado)
- e) reimpresión de cassette (cinta) grabada para repetición
- f) fin de cassette

a) RUTINA DE ENCENDIDO

Encender switch del PACR, a partir del cual entramos en diálogo con el computador de la siguiente manera:

DISPLAY	PRESIONAR LAS TECLAS	COMENTARIOS
ACID JOB ?	CLEAR/N	aqui seleccionamos el
FRAC JOB ?	CLEAR/N	tipo de trabajo que
CEMEN JOB ?	ENTER/Y	vamos a realizar,
BACK UP 1IV.METRIC	-----	chequear conexiones y fusibles
POWER OK. 12V.METRIC?	ENTER/Y	Sistema métrico de medición.
	CLEAR/N	SISTEMA DE UNID. PETROLEO
TIME HH:MM	-----	Poner la hora en sist. 24 hrs.
	ENTER/Y	Para empezar en cero horas.
READY ?		

B) CALIBRACION DE SENSORES

Presionar la tecla SENSOR SCALE luego ENTER/Y

DISPLAY	PRESIONAR LAS TECLAS	COMENTARIOS
UNIT =	1 ENTER/Y	Selección de la unidad 1
SENSOR =	1 ENTER/Y	Selección de presión
MAX =	15,000 ENTER/Y	Presión máxima del sensor
MIN =	0 ENTER/Y	Presión mínima del sensor
V MX =	10 ENTER/Y	Voltaje máximo = 10 V
V MIN =	2 ENTER/Y	Voltaje mínimo = 2 V
SENSOR =	2 ENTER/Y	Sensor de densidad
MAX =	25 ENTER/Y	Densidad máx. densistómetro
MIN =	5 ENTER/Y	Densidad mín. densistómetro
V MX =	10 ENTER/Y	Voltaje máximo = 10 V

v MIN = 0 ENTER/Y Voltaje mínimo = 0 V
 SENSOR = 3 ENTER/Y Sensor de flujo
 PUMP = 1 ENTER/Y Bomba de inyectar (downhole)
 K = 0.574 ENTER/Y Factor K para pistón 5"
 SENSOR = 3 ENTER/Y Sensor de flujo
 PUMP = 2 ENTER/Y Bomba de mezclar (mixing)
 K = 0.324 ENTER/Y Factor K para pistón 3 3/4"
 SENSOR = ENTER/Y
 READY ?

c) IMPRESION DEL SIMBOLO DEL PACR (encabezado)

En esta parte lo que se hace es únicamente poner un menbrete para la información necesaria con la cual podremos identificar el trabajo realizado, el formato es como sigue :

```

DS  PACR LOG

COMPañIA :                   CAMPO :

POZO No.  s

DISTRITO :                   No. DE REPORTE DE SERVICIO :

TIPO DE SERVICIO :

INGENIERO :

HORA/FECHA de inicio del trabajo :

NOTAS :
  
```

c) SELECCION DEL MODO DE IMPRESION DURANTE LA OPERACION

Sabemos que existen dos tipos de impresión y estos son gráfico ó listado para ello veremos por separado cada uno de ellos.

SELECCION DE MODO DE GRAFICA

Para empezar a seleccionar presionamos la tecla PLOT luego :

DISLPAY	PRESIONAR TECLA	COMENTARIOS
STANDARD ?	ENTER/Y	Standard curva 1 = presión curva 2 = densidad curva 3 = flujo
RANGE ?	CLEAR/N	Presión (0-5000 psi) ó 0-500bar densidad (0 - 2 5 lb/gal) flujo (0 - 20 BPM)
	ENTER/Y	Esta tecla se presiona si deseamos cambiar los rangos anteriores.
SCAN	ENTER/Y	Velocidad de gráfica = 5 seg.
	8 ENTER/Y	Para trabajos de más de 3 horas.
RECORDING =	ENTER/Y	Si se desea grabar en cassette.
	CLEAR/N	Si no se desea grabar el trabajo.
REC RTE 4 ?	ENTER/Y	11 1/2 Hrs. de grabación aproxim.
	CLEAR/N	3 Horas de grabación aproximada.

En este momento el PACR imprimirá los parámetros y los rangos de las variables que va a graficar.

El DISPLAY mostrará G0 ? cuando se desee iniciar la grabación se deberá presionar la tecla ENTER/Y .

SELECCION DE MODO DE IMPRESION DE VALORES INSTANTANEOS (listado)

Se empieza presionando la tecla PRINT

DISPLAY	PRESIONAR LA TECLA	COMENTARIOS
STANDARD ?	ENTER/Y	Standard : variable 1 = presión variable 2 = densidad variable 3 = flujo

SCAN	60	ENTER/Y	Imprimirá los valores instantaneos cada 60 segundos
RECORDING ?		ENTER/Y	Si se desea grabar el trabajo
		CLEAR/N	Si no se necesita grabar
REC RTE 4 ?		ENTER/Y	11 1/2 hrs. de grabación aprox.
		CLEAR/N	3 Horas de grabación aprox.

En este momento el PACR imprimirá cuales son las variables que van estarse imprimiendo durante la operación. EL DISPLAY mostrará GO ? , cuando se desee iniciar la grabación se deberá presionar la tecla ENTER/Y .

Durante el trabajo se pueden usar las siguientes teclas :

PLOTTER RANGE	para cambiar el rango de las variables impresas.
PRINT LINE	para imprimir los valores instantáneos de las variables
MESSAGE	para imprimir algún mensaje (ver manual apéndice 3)
PAUSE	para detener la grabación
STOP	para finalizar la grabación (enter/y)
	para cambiar de cassette.

e) REIMPRESION DE CASSETTE GRABADO

* Ejectuar rutina de encendido

* Presionar tecla PLAY BACK

Luego el DISPLAY mostrará READY y el impresor escribirá " PLAY BACK MODE " y las unidades seleccionadas durante la rutina de encendido. En este momento se deberá seleccionar el modo en el que se desea obtener la repetición. Existen tres formas : Display, gráfica o listado .

* Para DISPLAY presionar la tecla DISPLAY

El PACR pregunta change ? (algún cambio ?)

UNIT = 1 ENTER/Y

El PACR mostrará en el display la secuencia de la operación .

* Para la gráfica presionar la tecla PLOT

El PACR pregunta change ?

RESPUESTA : enter/y STANDARD ?

clear/n RANGE ? según procedimiento deseado.

* Para listado presionar la tecla PRINT

El PACR preguntará change ?

Respuesta : Enter/y STANDARD ?

Clear/n RANGE ? según procedimiento en modo

de impresión de listado.

f) FIN DE CASSETTE

Cuando la grabadora llega al final del cassette, la adquisición de datos, la impresión en listado ó en gráfica no se detiene. Así que en la impresión del papel en modo de tiempo real no aparecen partes sin imprimir. El operador deberá cambiar de cassette por uno nuevo. El PACR detecta el cambio de cassette (bot) entonces la grabación continua. Durante el trabajo el operador podrá reemplazar un cassette que esta por finalizar, presionando la tecla STOP .

El PACR preguntará END JOB ? (fin de trabajo ?)

Respuesta : CLEAR/N

Pregunta : NEW CASSETTE ? (nuevo cassette ?)

Respuesta : ENTER/Y

DISPLAY : TAPE ENDED (fin de cassette)

Entonces el operador deberá instalar el cassette nuevo

y la grabación continuará.

Duración de los cassettes :

REC RTE 4 11 1/2 Horas
REC RTE 1 2 : 45 Horas .

FACTOR K

Al realizar la calibración (proceso b) se ha introducido un factor K que depende de las dimensiones del pistón que usa la bomba, este factor se utiliza para indicar cuantos barriles hay por revolución del eje de cada bomba triplex.

TAMAÑO	FACTOR K
5"	0.574
4 1/2"	0.466
3 3/4"	0.324

Nota : si no se programa los factores K el PACR asumirá

0.574 para la bomba 1

0.324 para la bomba 2

Es importante saber que :

$$K = 1000 \times V \times R / N$$

donde:

R = relación de cada cadena

V = bbl/revoluciones del eje del extremo de potencia

N = cantidad de tuercas

K = milibarriles/pulso

Por ejemplo para una bomba triplex de desplazamiento 0.35 barriles por pistón y usa sensor que da pulsos por stroke.

$$K = 0.35 \times 1000 \times 3 / 2 \text{ strokes} = 525 \text{ mbbbl/pulso}$$

DETECCION Y CORRECCION DE POSIBLES FALLAS

Las fallas típicas son :

* suministro de corriente

para detectar una falla de corriente, verificar :

- 1) suministro, aqui verificar la bateria (12 V) y la corriente AC para el convertidor de corriente (costa afuera).
- 2) Caja de potencia, verificar los contactos, encendido, los botones verdes deben estar presionados y chequear los conectores a la bateria (los terminales).
- 3) cable , verificar el cable de potencia del PACR, ajustar la conexión " jupiter " , limpiar conexiones en la caja de potencia .
- 4) Verificar el fusible del PACR 6.3 A .
- 5) Verificar si el PACR esta prendido, si no, puede ser una falla interna del PACR .

*** cassette (cinta) y lector**

En caso de falla verificar :

- 1) si las ruedas de la cinta giran bien
- 2) si la cabeza lectora esta limpia
- 3) limpiar con alcohol líquido especial
- 4) el detector usado para buscar el inicio de la cinta tiene que estar limpio
- 5) asegurarse que la cinta no esta protegida
- 6) verificar en otra cinta si sigue fallando.

*** printer (impresor)**

Si la cabeza se mueve pero la impresión es de mala calidad verificar:

- 1) si la cabeza esta limpia
- 2) si la conexión de la cabeza del printer esta bien
- 3) si sigue fallando probar con otra cabeza nueva*

*** interruptores de proximidad**

Si la bomba funciona pero el PACR no lo indica verificar :

- 1) si el interruptor (ON/OFF) esta prendido
- 2) verificar si el interruptor de proximidad funciona
- 3) prender el PACR

- 4) acercar una tuerca en frente del interruptor (la luz roja del interruptor tiene que prenderse)
- 5) si la luz roja no prende usar un objeto metálico y hacer contacto, caso contrario cambiar de interruptor.

Nota: poner grasa de silicio para proteger el interruptor.

*** cables para señales**

Si los sensores están bien pero no hay señal en el PACR verificar:

- 1) conexiones esten apretadas
- 2) los "pines" de los conectores esten limpios
- 3) verificar el cable con un voltímetro .

3.- APLICACIONES EN LAS OPERACIONES DE CAMPO

a) DISEÑO

POZO : ZA - 7169
CAMPO : ZAPOTAL
EQUIPO : G - 9
CLIENTE : NAVIERA PEREZ COMPANC
T.REVEST. : PRODUCCION 5 1/2 "

I.- sumario

Para tener éxito en una cementación, debemos controlar todos los componentes del trabajo; para ello debemos asegurar que estos componentes sean ejecutados cuidadosamente. En conclusión, la preparación del pozo; es decir, la centralización, acondicionamiento del lodo y movimiento de la cañería no es opcional, son componentes muy importantes de una cementación. Cuando la cañería no está bien centralizada, como en el caso en que el tamaño del hueco es mayor que la normal; las fuerzas de arrastre a través del área de flujo no son uniformes, aumentándose las posibilidades de canalización del cemento a través del lodo, dejando este lodo en la parte más angosta del espacio anular. Un factor que frecuentemente no es tomado en cuenta en un trabajo de cementación, es el acondicionamiento del lodo; sin embargo, es muy difícil lograr una cementación exitosa en un pozo donde el lodo no ha sido acondicionado adecuadamente. Hay que poner especial énfasis al acondicionamiento del lodo de modo que aseguremos la remoción del mismo. El movimiento de la cañería durante el acondicionamiento del lodo aumentará los esfuerzos de corte dentro de la cañería, lodo y formación, induciendo un movimiento en la parte reducida del espacio anular, ayudando en la remoción del lodo inmóvil.

1.-DATOS DEL POZO

Objetivo primario : Mogollón Repetido a 5094 pies
Ostrea Insitu a 5460 pies
Mogollón Insitu a 5616 pies

Profundidad total 7750 pies

Zapato Guía 7730 pies

Collar Diferencial 7690 pies

Tub. de Revestimiento : 5 1/2 pulg. 20/17 lb/pie N80

Densidad del lodo 9.7 lb/gal

Gradiente de fractura : 0.79 lb/pulg²/pie (psi/pie)

Diámetro prom.del pozo : 10 1/4 pulg.

2.-PREPARACION DEL POZO

El lodo debe ser acondicionado antes de la cementación, reduciendo su punto de cedencia y viscosidad a un nivel mínimo permisible. La circulación deberá continuar hasta cuando haya una pequeña diferencia o no exista la misma entre la densidad de salida y entrada, se recomienda al menos 2 circulaciones completas de todo el volumen de lodo en circulación.

3.- FLUIDOS

Toda la información concerniente a los fluidos que se bombean al pozo, está contenido en la sección diseño, en la cual se detalla uno a uno los fluidos, indicando su densidad, reología, el tiempo de bombeabilidad, pérdida de filtrado, resistencia a la compresión de las lechadas y composición.

En este pozo se empleo el siguiente sistema:

Colchón químico :CW-100

Colchón mecánico :Espaciador - 3000

Lechada superior :Extendida al 8%

Lechada intermedia : Extendida al 4%

II.-SECUENCIA OPERATIVA DEL TRABAJO .

1. - Inicio de operación DS.
2. - Prueba de presión sin tapones en la cabeza de cementación.
3. - Colocar tapones superior e inferior en la cabeza de cementación.
4. - Soltar tapón inferior.
5. - Bombear CW-100 a 6 bpm (barriles por minuto).
6. - Bombearespaciador 3000 a 6 bpm.
7. - Mezclary bombear lechada al 8Z a 8 bpm.
8. - Mezclary bombear lechada al 4% a 8 bpm.
9. - Mezclary bombear lechada al 0% a 8 bpm.
10. - Soltar tapón superior.
11. - Inicio de desplazamiento (chequear contantemente que haya circulación).
12. - Fin de desplazamiento y llegada del tapón superior con 500 psi sobre la presión final.
13. - Liberar presión y chequear retornos .
14. - Fin de operación.

b) EJECUCION

RESULTADOS REALES VS DISEÑO

POZO : ZA- 7169

CAMPO : ZAPOTAL

DESCRIPCION	DISEÑO	REAL
1) Acondicionamiento del lodo		
Pv (cp)	15-25	12
Ty (lb/100 pie ²)	5-10	8
Densidad (lb/gal)	9.7	9.3
2) Datos del pozo		
Prof. final (pies)	7750	7750
Diám. broca (pulg.)	7 7/8	7 7/8
Diám. máximo del pozo (pulg)	nd	15
Diám. promedio del pozo	10 1/4	10 1/4
BHST (oF)	150	150
BHCT (oF)	126	126
3) Acondicionamiento del pozo		
Volúmenes del pozo circulados	nd	1.16
Caudal (bpm)	nd	7.8
Movimiento de tubería revest.	si	si
Reciprocación	nd	ne
4) Tapones separadores		
Superior (s/n)	si	si
Inferior (s/n)	si	si
5) Lavadores/espaciadores		
Lavador químico (tipo, bbl, bpm)	CW-100/30/5	CW-100/30/6.
Espaciador (tipo, bbl, bpm)	SP-3000/40/5	SP-3000/40/6
6) Lechada guía : 8%		

Densidad (min,prom,máx,:lb/gal)	13.1/13.1/13.1	13/13.1/13.2
Caudal de bombeo (bpm)	8	8
7) Lechada intermedia : 4%		
Densidad (min,prom,máx,:lb/gal)	14.1/14.1/14.1	14/14.1/14.2
Caudal de bombeo (bpm)	8	7.9
8) Lechada principal : 0%		
Densidad (min,prom,máx,:lb/gal)	15.6/15.6/15.6	15.7/15.6/15.5
Caudal de bombeo	8	5.5
9) Desplazamiento		
Tipo de fluido, bpm, bbl	agua/nd/176	agua/11.7/177
10) Fin de desplazamiento		
Tapón al fondo (s/n)	si	si
Presión máx. circulación (psi)	nd	2560
Presión llegada del tapón (psi)	nd + 500	2944

11) COMENTARIOS

La operación en éste pozo fue bastante bien, para empezar la lechada removedora al 8% estuvo muy bien controlada, tanto como para el caudal como para la densidad. La segunda lechada al 4% estuvo muy bien en la primera mitad de su volumen de bombeo, para la segunda mitad se notaron algunas variaciones, aunque no criticas. Al bombear la lechada al 0%, un jet de alimentación de agua fue taponeado de manera que por un momento no se pudo controlar la densidad, la misma que se manejó disminuyendo el caudal de bombeo a un promedio de 5.5 bpm. Cuando se llevaban 155 bbl de agua desplazados se detectó una fuga de presión en la línea de 2 pulgadas de alta presión, teniéndose que cambiar tal sello por razones de seguridad. Retornaron más de 200 sacos de cemento, además de los lavores químico y mecánico.

P B I » V A R I A B L E S

NAVIERA PEREZ COMPANC TPE - 1150
 ZA 7169 PRODUCCION 5 1/2"
 G-5
 ZAPOTAL 11/MAYO/87

TIME	PRESSURE	DENSITY	FLOW RATE	EVENTS
HH:MM:SS	W.H. PRESS	U1 DENSITY	TOTAL FLOW	
	PSI	PPG	BPM	
00:47:00	911	8.0	0.0	1 START JOB
00:48:00	888	8.0	0.0	1
00:49:00	879	8.0	0.0	1
00:50:00	851	8.0	0.0	1
00:51:00	833	8.0	0.0	1
00:52:00	815	8.0	0.0	1
00:53:00	805	8.0	0.0	1
00:54:00	782	8.0	0.0	1
00:55:00	769	8.0	0.0	1
00:56:00	741	8.0	0.0	1
00:57:00	718	8.0	0.0	1
00:58:00	700	8.0	0.0	1
00:59:00	668	8.0	0.0	1
01:00:00	581	8.0	0.0	1
01:01:00	531	8.0	0.0	1
01:02:00	503	8.0	0.0	1
01:03:00	494	8.0	0.0	1
01:04:00	480	8.0	0.0	1
01:05:00	467	8.0	0.0	1
01:06:00	448	8.0	0.0	1
01:07:00	439	8.0	0.0	1
01:08:00	416	8.0	0.0	1
01:09:00	416	8.0	0.0	1
01:10:00	402	8.0	0.0	1
01:11:00	402	8.0	0.0	1

t , ** t**«to**

PRINT

LEIS

NAVIERA PEREZ COMPANC
ZA 7169
G-J
ZAPOTAL

TPE - 1150
PRODUCCION 5 1/2"
11/MAYO/87

TIME	1	PRESSURE	DENSITY	FLOW RATE	EVENTS
HH:MM:SS		W.H. PRESS PSI	U1 DENSITY PPG	TOTAL FLOW BPM	
01:12:00		384	8.0	0.0	1
01:12:32	1				START PAUSE
01:45:36	1				END PAUSE
01:45:48	1				J START PAUSE
01:46:52	1				END PAUSE
01:47:00	1	0	8.0	0.0	START PAUSE
01:47:04	1				END PAUSE
01:47:32	1				START PAUSE
02:56:36	1				END PAUSE
02:56:40	1				1 PRESSURE TEST LINE
02:57:00		480	8.0	0.6	1
02:58:00		2870	8.0	0.0	1
02:59:00		4349	8.0	0.0	1
03:00:00		4271	8.0	0.0	1
03:01:00		4203	8.0	0.0	1
03:01:12	1				START PUMPING WASH
03:02:00		0	8.0	0.0	1
03:03:00		0	8.0	0.0	1
03:04:00		123	8.0	0.0	1
03:05:00		334	8.0	0.0	1
03:06:00		160	8.0	4.7	1
03:07:00		311	8.0	5.6	1
03:08:00		334	8.0	6.5	1
03:09:00		343	8.0	6.5	1
03:10:00		361	8.0	6.5	1

11-MAY-87 13:05:04

inJfBb-LL BUHLUBHEHEITH

PRINT VARIABLES

NAVIERA PEREZ COMPANC TPE - 1150
ZA 7169 PRODUCCION 5 1/2"
G-I
ZAPOTAL 11/MAYO/87

TIME	PRESSURE	DENSITY	FLOW RATE	EVENTS
HH:MM:SS	W.H. PRESS PSI	U1 PPG	TOTAL FLOW BPM	
03:10:52				1 START PUMPING SPACER
03:11:00	297	8.0	3.7	1
03:12:00	457	8.0	6.7	1
03:13:00	425	8.0	6.7	1
03:14:00	384	8.0	6.8	1
03:15:00	361	8.0	6.8	1
03:16:00	265	8.0	6.9	1
03:17:00	54	8.0	4.4	1
03:17:16				1 RESET VOLUME
03:17:24				1 START MIXING LEAD SLURRY
03:18:00	0	8.4	0.0	1
03:19:00	260	11.4	7.7	1
03:20:00	398	13.9	8.1	1
03:21:00	315	13.0	8.6	1
03:22:00	288	13.2	7.7	1
03:23:00	279	13.0	7.8	1
03:24:00	274	13.0	7.8	1
03:25:00	288	13.1	7.9	1
03:26:00	297	13.0	7.9	1
03:27:00	288	12.9	8.1	1
03:28:00	288	12.9	8.2	1
03:29:00	279	13.0	7.8	1
03:30:00	283	13.0	7.9	1
03:31:00	279	12.9	7.9	1
03:32:00	270	12.9	7.9	1

fiu.ll >ULIÜ>WA >1.
 11-MAY-87 13:05:06

UUWBL1 rCHUJHBERGS

PRINT VARIABLES

NAVIERA PEREZ COMPANC TPE - 1150
 ZA 7169 PRODUCCION 5 1/2"
 G-? 11/MAYO/87
 ZAPOTAL

TIME	1	W.H. PRESS	PRESSURE	DENSITY	FLOW RATE	EVENTS
HH:MM:SS		PSI	UL DENSITY	TOTAL FLOW		
			PPG	BPM		
03:33:00		283	12.9	7.9	1	
03:34:00		265	12.7	8.0	1	
03:35:00		270	13.2	8.0	1	
03:36:00		260	13.1	8.0	1	
03:37:00		265	13.1	8.0	1	
03:38:00		302	13.2	8.0	1	
03:39:00		270	12.9	8.0	1	
03:40:00		283	13.0	8.1	1	
03:41:00		274	1.3.0	8.0	1	
03:42:00		270	12.9	8.0	1	
03:43:00		279	13.0	8.1	1	
03:44:00		265	13.0	8.1	1	
03:45:00		279	13.0	8.1	1	
03:46:00		270	12.9	8.1	1	
03:47:00		274	12.9	8.1	1	
03:48:00		274	12.9	8.1	1	
03:49:00		293	13.0	8.1	1	
03:50:00		283	13.1	8.2	1	
03:51:00		283	13.1	8.2	1	
03:52:00		288	13.2	8.1	1	
03:53:00		274	12.9	8.1	1	
03:54:00		270	12.9	8.1	1	
03:55:00		270	12.9	8.1	1	
03:56:00		265	13.0	8.2	1	
03:57:00		265	12.9	8.2	1	

DOWELL SCHLUMBERGER

PRINT VARIABLES

NAVIERA PEREZ COMPANC TPE - 1150
 ZA 7169 PRODUCCION 5 1/2"
 9-5
 ZAPOTAL 11/MAYO/87

TIME	PRESSURE	DENSITY	FLOW RATE	EVENTS
HH:MM:SS	W.H. PRESS	UL DENSITY	TOTAL FLOW	
	PSI	PPG	BPM	
03:58:00	270	13.0	8.2	1
03:59:00	416	14.5	8.1	1
04:00:00	265	13.6	7.5	1
04:01:00	347	14.1	7.0	1
04:02:00	402	14.0	7.8	1
04:03:00	320	14.0	6.8	1
04:04:00	325	14.0	6.8	1
04:05:00	393	14.0	7.6	1
04:06:00	389	14.0	7.6	1
04:07:00	302	13.4	7.7	1
04:08:00	338	13.6	7.7	1
04:09:00	320	13.9	7.8	1
04:10:00	315	13.8	7.8	1
04:11:00	306	13.8	7.8	1
04:12:00	302	13.7	7.9	1
04:13:00	283	13.4	7.9	1
04:14:00	251	13.8	7.9	1
04:15:00	265	14.8	7.2	1
04:16:00	260	15.4	7.0	1
04:17:00	238	15.4	6.7	1
04:18:00	242	15.4	6.7	1
04:19:00	224	15.5	6.2	1
04:20:00	238	15.4	6.6	1
04:21:00	251	15.5	6.7	1
04:22:00	260	13.9	6.7	1

PACR fix czi0VAX VI. 4
11-MAY-87 13:05:09

DOWELL SCHLUMBERGER
PRINT VARIABLES

NAVIERA PEREZ COMPANC TPE - 1150
ZA 7169 PRODUCCION 5 1/2"
G-J
ZAPOTAL 11/MAYO/87

TIME	1	W.H. PRESS PSI	DENSITY U1 PPG	FLOW RATE TOTAL FLOW BPM	EVENTS
04:23:00		219	15.8	5.4	1
04:24:00		219	15.5	5.1	1
04:25:00		215	15.7	5.1	1
04:26:00		219	15.8	5.1	1
04:27:00		210	15.4	5.1	1
04:28:00		219	15.7	5.0	1
04:29:00		228	15.6	5.0	1
04:30:00		233	15.5	5.0	1
04:31:00		233	15.3	4.9	1
04:32:00		196	15.6	5.0	1
04:33:00		192	15.6	5.0	1
04:34:00		196	15.7	5.0	1
04:35:00		210	15.6	4.9	1
04:36:00		219	15.6	4.9	1
04:37:00		219	15.5	4.9	1
04:38:00		283	15.4	5.5	1
04:39:00		187	15.1	5.3	1
04:40:00		228	15.6	5.2	1
04:41:00		173	15.6	4.6	1
04:42:00		215	15.5	4.8	1
04:42:32					RESET VOLUME
04:42:40					START DISPLACEMENT
04:43:00		0	13.2	0.0	1
04:44:00		0	11.9	0.0	1
04:45:00		0	10.4	0.0	1

m1b m&ravjut vi.4
11-HAY-87 13:05:11

DOWELL SCHLUHBERGER

PRINT VARIABLES

NAVIERA PEREZ COMPANC TPE - 1150
ZA 7169 PRODUCCION 5 1/2"
G-5
ZAPOTAL 11/MAYO/87

TIME	PRESSURE	DENSITY	FLOW RATE	EVENTS
HH:MM:SS	W.H. PRESS PSI	UI DENSITY PPG	TOTAL FLOW BPM	
04:46:00	251	8.0	10.9	1
04:47:00	329	8.0	11.7	1
04:48:00	320	8.5	11.7	1
04:49:00	856	8.5	11.6	1
04:50:00	1039	8.4	11.4	1
04:51:00	1295	8.5	11.5	1
04:52:00	1350	8.4	11.2	1
04:53:00	1552	8.4	10.9	1
04:54:00	1570	8.4	9.1	1
04:55:00	1781	8.4	9.4	1
04:56:00	1950	8.5	9.1	1
04:57:00	2055	8.4	8.8	1
04:58:00	2216	8.5	8.7	1
04:59:00	2234	8.4	7.4	1
05:00:00	2449	8.4	8.2	1
05:01:00	1826	8.4	3.3	1
05:02:00	1378	8.4	0.0	1
05:03:00	0	8.4	0.0	1
05:04:00	0	8.4	0.0	1
05:05:00	0	8.4	0.0	1
05:06:00	27	8.4	0.0	1
05:07:00	2371	8.4	5.1	1
05:08:00	2632	8.4	6.9	1
05:09:00	2454	8.4	5.7	1
05:10:00	2568	8.4	3.5	1

FACH m CIOVAX VI.4
 11-NAY-87 13:05:13

DOWELL SCHLUHBERGK
 PRINT VARIABLES

NAVIERA PEREZ COMPANC TPE - 1150
 ZA 7169 PRODUCCION 5 1/2"
 G-? 11/MAYO/87
 ZAPOTAL

TIME	PRESSURE	DENSITY	FLOW RATE	EVENTS
HH. MM. SS	W.H. PRESS PSI	UI DENSITY PPG	TOTAL FLOW BPM	
05:11:00	2559	8.4	2.3	1
05:12:00	2893	8.4	0.0	1
05:13:00	2944	8.4	0.0	1
05:14:00	0	8.4	0.0	1
05:15:00	0	8.4	0.0	1
05:16:00	0	8.4	0.0	1
05:17:00	0	8.4	0.0	1
05:18:00	0	10.8	0.0	1
05:19:00	0	8.0	0.0	1
05:20:00	0	8.1	0.0	1
05:21:00	0	8.2	0.0	1
05:21:52	0	8.1	0.0	1

END JOB

c) EVALUACION

POZO : ZA - 7169

CAMPO : ZAPOTAL

Los principales parámetros que son motivo de esta evaluación están incluidos en los gráficos adjuntos, los mismos que han sido preparados en base a los resultados operativos de campo, así como de los registros de calidad del cemento después que quedo fraguado.

1) DESVIACION, aparentemente los valores de los registros de desviación reportados indican que el pozo no ha sufrido desviación .(gráf.11).

2) DENSIDADES DE LAS LECHADAS, el gráfico No.10 nos muestra que las densidades de las lechadas fueron dentro de lo diseñado, especialmente la lechada al 8% cuyo promedio de densidad fue prácticamente de 14.0 lb/gal. La lechada al 4% tuvo algunas variaciones en el inicio de la segunda mitad de su bombeo. La lechada al 0% tiene un promedio normal en su densidad y el caudal de bombeo fue menor que el diseñado pues un taponamiento de uno de los jet causó disminución de creación de vacío para succionar cemento. En síntesis la primera lechada fue excelentemente mezclada y las otras dos lechadas de colocación estuvieron en su promedio de densidad.

3) CAUDAL DE BOMBEO VS DIAMETRO DEL HUECO, el gráfico No.10 nos señala que el caudal de mezcla para las primeras lechadas (8Z y 4%) tuvieron un promedio estabilizado de 8 bpm, caudal que se adecúa (para el caso de lechada removedora) muy fácilmente a las condiciones de turbulencia, puesto que sólo se requiere de 7 pbm para un diámetro de 10 pulgadas.

4) REGISTRO CBL/VDL, los resultados de adherencia de cemento,son bastante halagadores. Se puso mucho énfasis en esta operación debido a que con las mismas condiciones de operación, excepto en el

acondicionamiento del lodo, se tuvieron en los dos últimos pozos resultados bastante adversos; es decir, un registro bueno y otro malo. Se incidió mucho en el acondicionamiento del lodo esta vez como sucedió en el pozo ZA - 7064 y los resultados parecen indicar que el lodo puede ser la clave para el éxito de estas cementaciones. El análisis del CBL/VDL indica una buena adherencia de cemento al revestidor como a la formación a lo largo de todo el registro. El tramo de los 4550 - 4750 pies sufre una cierta variación debido a una posible variación de la densidad de la lechada o al tamaño del hueco que se agranda a 11 pulgadas en la última parte de este tramo. El tiempo de contacto es de aproximadamente de 30 minutos, para un tamaño de hueco de más de 10 pulgadas de diámetro.

5) PRESIONES, la idea es de comparar lo diseñado con lo que se registró en el campo. Las presiones de colocación real son casi exactas a las que se predijo con el simulador CemCade, lo mismo ocurre con las presiones de superficie; esto refuerza la gran ayuda que representa el simulador al reproducir una operación de cementación antes que esta haya ocurrido. Los gráficos No. 6 vs No.7 y No.8 vs No.9 indican las presiones simuladas y las reales respectivamente.

6) LODO DE PERFORACION, como se ha resaltado anteriormente, el acondicionamiento del lodo es una de las claves de mayor importancia para el éxito de una cementación. Es necesario que las propiedades del lodo estén estabilizadas previas a la operación de cementación, es decir que los valores reológicos de entrada al pozo han de ser iguales a los de salida del pozo, se siguieron muy de cerca las propiedades reológicas del lodo de perforación, cuyos valores estuvieron dentro de los límites diseñados, como para el caso de punto de cedencia que es un valor muy crítico, fue de 8 lb/100 pies². No se debe considerar la circulación del pozo como tiempo perdido, es una parte de la cementación, si se

acondiciona el lodo apropiadamente, entonces obtendremos trabajos exitosos con mayor facilidad.

7) CONCLUSION * Controlar muy de cerca los valores reológicos del lodo de perforación, es decir, que los valores deben tener o estar dentro de los recomendados en el diseño final de cementación. La reología del lodo ha de ser la misma para el lodo que entra al pozo como para el que sale del mismo. Una vez que se ha estabilizado estos valores, circular el pozo por lo menos una vez más su volumen.

* Asegurarse que el pozo haya sido reciprocado durante el proceso de acondicionamiento del lodo, puede ser a un ciclo cada 1-3 minutos, con el fin de ayudar a ablandar el revoque de lodo adherido a la formación.

* Aumentar el caudal de circulación del lodo al momento del acondicionamiento. Este caudal puede ser un promedio de 8 bpm .

* Al momento de cementación reciprocarse la cañería a razón de un ciclo cada 30 segundos, inclusive durante gran parte del desplazamiento de las lechadas de cemento.

GRAFICOS DEL DISEÑO

1. - GRAFICO ESQUEMATICO DEL POZO (WELL SCHEMATIC PLOT) No: 1 y 2

El primer gráfico (No.1) representa las condiciones del pozo antes de ser cementado, con los valores de registro de calibración tomados por la compañía de registros. El segundo gráfico (No.2) muestra las condiciones del pozo al final del trabajo; incluyendo las profundidades del pozo, así como los niveles de los fluidos bombeados, cantidades y densidades.

2. - GRAFICO DE DENSIDADES DE LECHADAS EN EL POZO (DOWNHOLE DENSITY PLOT)

El gráfico No. 3 , muestra la densidad y posición de cada fluido en el anular al final de la operación (parte izquierda del gráfico). El gráfico de la derecha muestra la presión hidrostática final en el anular (línea negra), así como las presiones porales y de fractura versus con la profundidad.

3. - GRAFICO DE COMPARACION DE CAUDALES A UNA PROFUNDIDAD DETERMINADA (FLOW RATE COMPARISON AT DEPTH PLOT) No. 4 y 5

Compara el caudal de bombeo que entra (flow rate in) en el anular (línea verde continua) a cualquier profundidad seleccionada vs tiempo. Indica el efecto de tubo en U, basado en las propiedades del fluido, volumen, secuencia de bombeo y geometría del pozo. Cada línea vertical, separa a cada fluido que pasa a través de la profundidad escogida en el anular. Compara el caudal que entra al pozo con el caudal que sale del pozo (flow rate out).

4. - GRAFICO DE PRESIONES DE COLOCACION A UNA PROFUNDIDAD DETERMINADA (PLACEMENT PRESSURE AT DEPTH PLOT) No. 6 y 7

Estos gráficos comparan las presiones dinámicas de colocación en el

anular (línea verde) y su componente hidrostático (línea negra) con la presión poral y de fractura (líneas azules punteadas), inferior y superior respectivamente vs tiempo de trabajo a cualquier profundidad escogida. Un margen de seguridad del 5% (línea roja punteada) es un valor calculado, siendo la presión poral mas 5% y la de fractura menos 5% para las presiones inferior y superior respectivamente.

5. - GRAFICO DE PRESIONES EN SUPERFICIE (SURFACE PRESSURES PLOT)

Los gráficos No. 8 y 9 , muestran las presiones de superficie esperada en la cabeza del pozo durante la operación de bombeo. El gráfico No.8 indica las presiones esperadas según el diseño previo a la cementación mientras que el gráfico No.9 son los resultados de las presiones registradas durante la operación de cementación.

6. - GRAFICO DEL P.A.C.R. (PACR PLOT) No. 10

Este gráfico incluye toda la información obtenida en el campo y captada por el cassette del PACR; ha sido procesada por el MRU-2 en el departamento de cómputo de D.S. y almacenada en la computadora MICROVAX II. Muestra los 3 parámetros del trabajo: presión, densidad y caudal; así como una sección de observaciones que describe los eventos que se sucedieron en la operación. Pueden hacerse ampliaciones de este gráfico si es necesario, si la situación lo requiere para examinar un tramo determinado del trabajo. La línea roja indica los valores de presión (psi), la verde indica los valores de la densidad (lb/gal) y la azul el caudal (bpm).

7. - GRAFICO DE EVALUACION

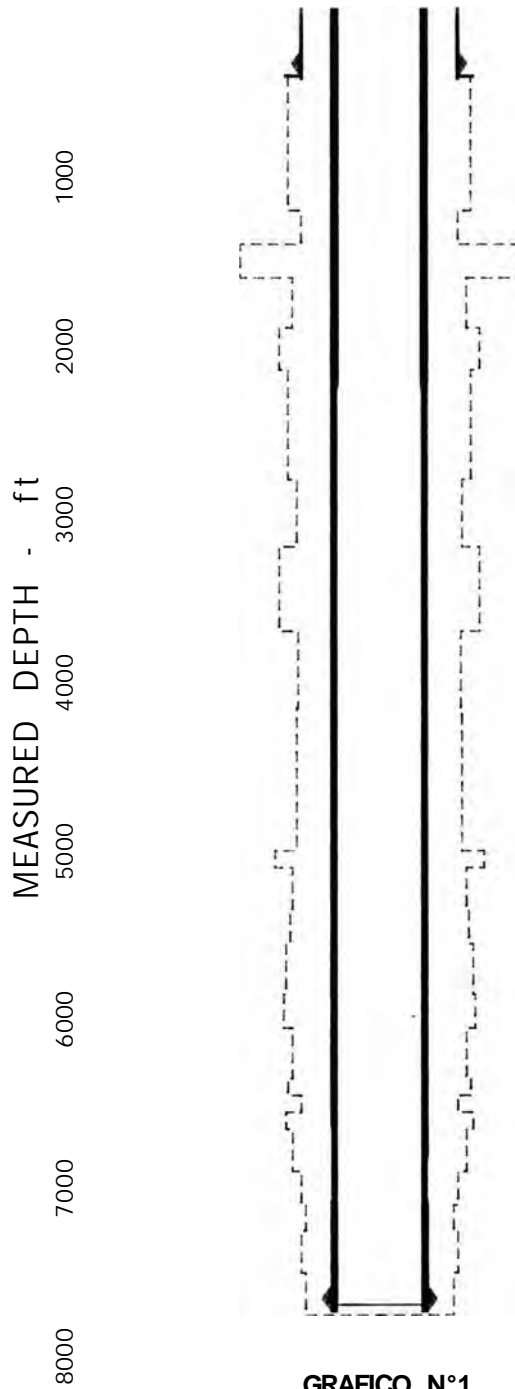
El gráfico final (No. 11) incluye parámetros del pozo, así como de la operación. Es un resumen que indica como fue el comportamiento de las lechadas en superficie al momento de la cementación (caudal y densidad

) y que efecto tuvieron en el resultado final, teniendo en cuenta el diámetro del pozo, los objetivos primario y secundario, así como sus profundidades. Dé una visión global de lo que fue el tratamiento (incluyendo aditivos principales usados) respecto del pozo final. Es importante anotar que para hacer una evaluación del registro CBL/VDL, habrá que recurrir al registro original, dado que las curvas dibujadas en este gráfico son solo indicativas.

CemCADE D ACEMEN DESIGN

WELL ZAP-7169
FIELD ZAPOTAL
CLIENT PETROPERU
CAS ING 5 1/2 PRODUCCI ON
COUNTR' PERU

WELL SCHEMATIC

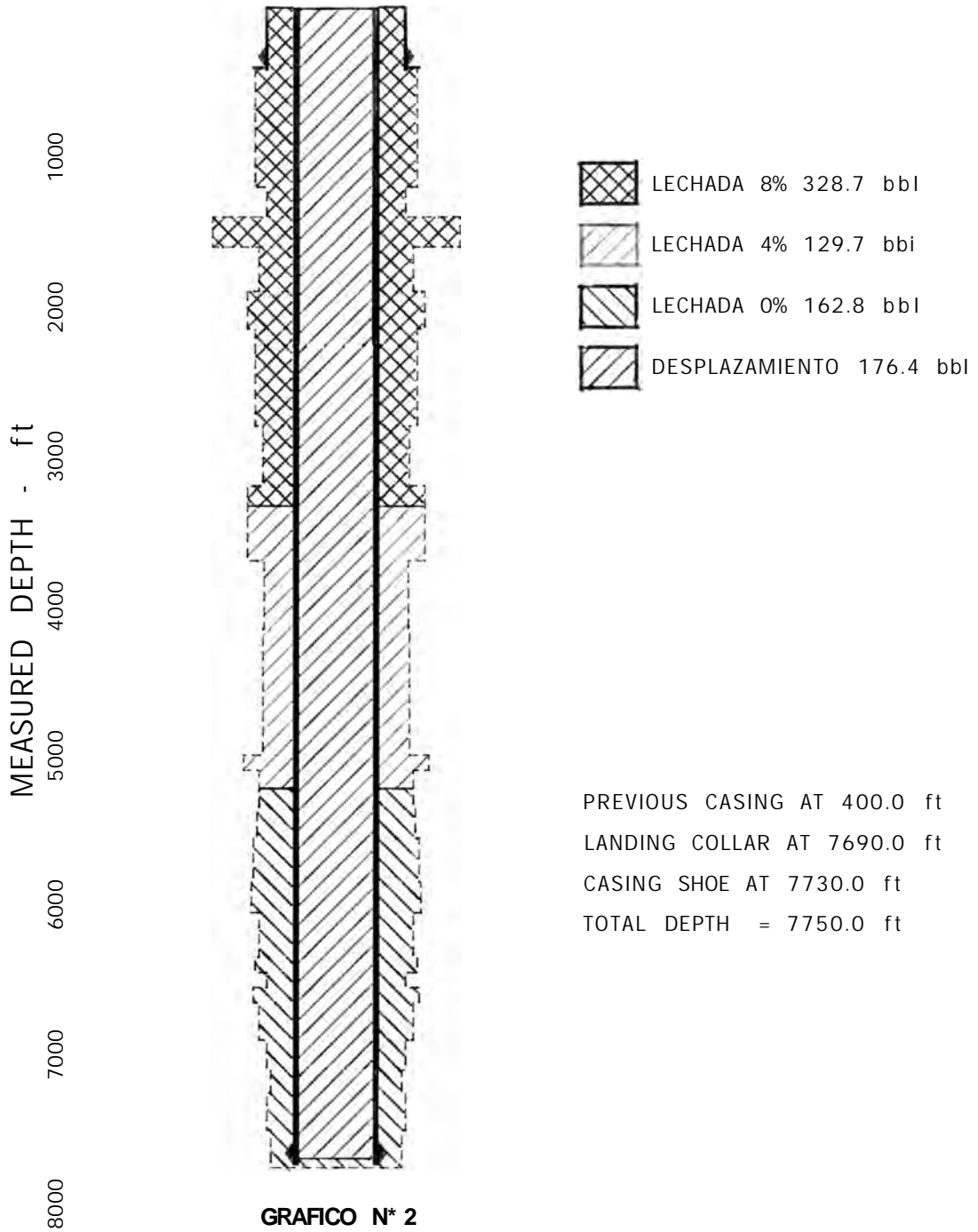


PREVIOUS CASING; AT 400.0 ft
LANDING COLLAR AT 7690.0 ft
CASING SHOE AT 7730.0 ft
TOTAL DEPTH = 7750.0 ft

GRAFICO N°1

WELL. SCHEMATIC

:ZAP-7169
 FIELD :ZAPOTAL
 CLIENT :NAVIERA PEREZ CO.
 CASING :5 1/2 PRODUCCION
 COUNTRY :PERU

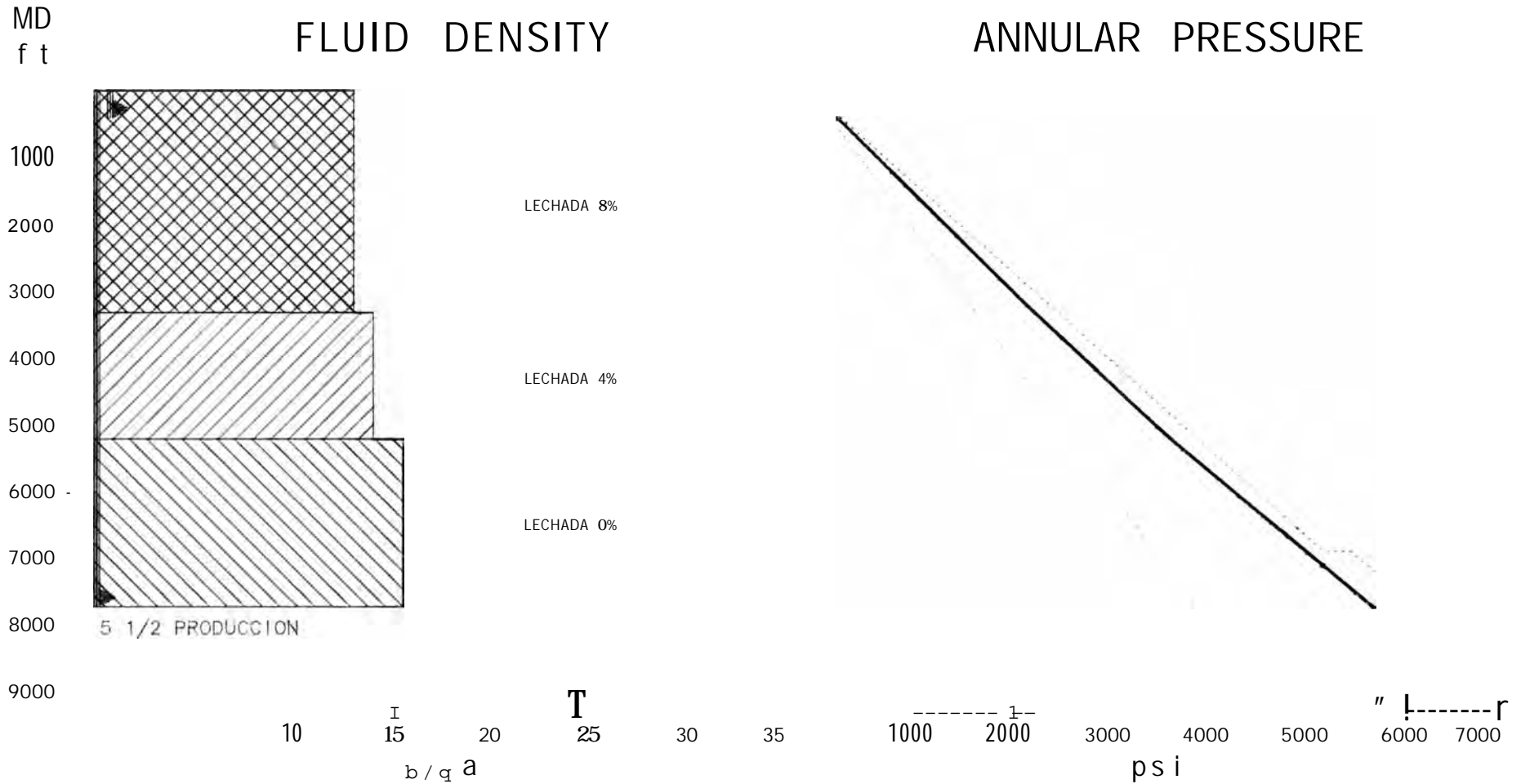


WELL
FIELD
CLIENT
CASING
COUNTRY

"GIRMO Ho
ZAP-7169
ZAPOTAL
NAVIERA PEREZ CO
5 1/2 PRODUCCION
PERU

CemCADE PLACEMENT DESIGN

DOWNHOLE PRESSURE - DENSITY PLOT



HYDROSTATIC PRESSURE
PORE PRESSURE
FRAC PRESSURE

PLOT REPRESENTS SITUATION IN ANNULUS AT END OF JOB

GRAFICO N° 3

4.- TECNOLOGIA ACTUALIZADA EN LA CEMENTACION DE POZOS

Actualmente el Laboratorio tiene una relativa importancia en cualquier materia a la que es destinado. De tal manera que en la Industria del Petróleo nos dá la información necesaria para realizar con éxito operaciones de campo. En el presente capítulo se muestran las pruebas rutinarias en los trabajos de cementación, todas estas pruebas se hacen siguiendo los procedimientos API (Instituto Americano de Petróleo).

4.1 TOMA DE MUESTRAS

En todo tipo de análisis, la toma de muestras es el paso de mayor importancia, debido a que los resultados que se obtendrán estarán supeditados a éste. Si la muestra tomada es incorrecta, el resultado será falso. En cementación las muestras pueden ser tomadas del silo, de la locación ó directamente de los depósitos originales de cementos ó aditivos. Para tener la certeza de que una muestra ha sido tomada correctamente debemos tener en cuenta lo siguiente :

- a) Representatividad de la muestra, tomar una muestra o varias que sean representativas de la población (sacos de cemento, aditivos, del silo, de toda la mezcla, etc.).
- b) Depósitos limpios, cerciorarse de que los depósitos para las muestras esten completamente limpios.
- c) Cerrado hermético, para evitar la contaminación de la muestra.
- d) Identificar la muestra, es necesario identificar la muestra colocando una etiqueta indicando el contenido del deposito.

4.2 PREPARACION DEL FLUIDO DE CEMENTACION (LECHADAS)

Las lechadas son preparadas utilizando :

a) Aparatos y material auxiliar :

* Mezclador de cemento o Waring blender, en este aparato se realizan las mezclas de los diversos sistemas de cemento. Tiene capacidad de 1000 cc (1 litro). Tiene dos velocidades, baja velocidad a 400 rpm y alta velocidad a 12,000 rpm .

* Mallas No. 20, estas tienen una abertura de 850 micrometros (0.0331 pulgadas). A travéz de ésta se hace pasar la muestra de cemento, con la finalidad de eliminar materiales sólidos.

b) procedimiento:

1) Primeramente la muestra de cemento se hace pasar a travéz de la malla No. 20; el material retenido en ella será pesado y expresado como porcentaje del total de cemento cernido. Es importante anotar sus características y luego descartarlo.

2) El agua de mezcla deberá ser agua fresca ó agua destilada. Para pruebas de rutina cualquier agua potable debe ser empleada. Sin embargo podemos utilizar agua de locaciones o de campo o de mar que previamente ha sido empleada en el laboratorio para determinar algún efecto secundario, agua de mezcla deberá ser medida en probetas graduadas.

3) La temperatura de agua y cemento, debe ser tomado antes de mezclar. La temperatura del agua deberá ser de 80 ± 5 oF (27 ± 3 oC) y el cemento deberá ser de 80 ± 5 oF (27 ± 6 oC) .

4) El porcentaje de agua por peso a ser adicionado por cada clase de cemento para pozos, deberá estar conformada con los valores dados en la tabla siguiente :

CLASE DE CEMENTO	PORCENTAJE DE AGUA	GALONES DE AGUA POR
API	POR PESO DE CEMENTO	SACO DE CEMENTO
A y B	46 %	5.19
C	56 X	6.32
D,E,F,y H	38 %	4.29
G	44 X	4.97
J	Recomendado por el fabricante	

5) La mezcla de agua y cemento, una vez que ha sido determinada los porcentajes. Se toma la cantidad de agua requerida y se colocan en el deposito del mezclador, se agita a baja velocidad, luego adicionamos la cantidad de cemento (cemento + aditivos) en no más de 15 segundos. Después que todo el cemento ha sido adicionado al agua se cubre el deposito con tapa y se continua mezclando a alta velocidad por 35 segundos. La lechada está lista para realizar las diversas pruebas de laboratorio.

6) El volumen de mezcla en el mezclador deberá ser de 600 mi.

VOLUMEN DE	COMPONENTES	CLASES API DE CEMENTO				
		A y B	C	D E F y H	G	
LECHADA		gr-	gr.	gr-	gr.	
mi	agua	355	383	327	349	
600	cemento	772	684	860	792	

4.3 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA

Comunmente es llamada prueba de agua libre, para realizar esta prueba hacemos uso de :

a) Aparatos y material auxiliar

* mezclador de cemento

Consistómetro atmosférico, especialmente es usado para realizar una parte en la secuencia a seguir para pruebas de reología, pérdida de filtrado y agua libre. Este consistómetro trabaja con presión atmosférica y se le puede graduar la temperatura hasta 200 oF (93 oC) a un rate de 2 oF (1 oC). Este aparato está equipado con un depósito de agua (baño), además de un calentador y un depósito rotatorio (150 rpm) donde será colocada la lechada de cemento.

La probeta graduada de 250 mi.; esta probeta debe ser de vidrio y sellada para evitar la evaporación, la porción de los 0 - 250 mi. graduados en la probeta no deben ser menos de 232 mm. ni más de 248 mm. de largo.

b) PROCEDIMIENTO

1) La lechada es preparada tal como 4.2 - b.5, inmediatamente es vaciado el contenido del deposito del mezclador al del consistómetro atmosférico y a 80 oF (27 oC), es agitado durante 20 minutos. Después de este tiempo la lechada de cemento es remezclada en el waring blendor a alta velocidad durante 35 segundos y rápidamente vaciada a la probeta de 250 mi., la cual es tapada para evitar la evaporación. La lechada de cemento debe permanecer quietamente durante 2 horas, y al termino de los cuales el agua remanente ó flotante en la superficie es separado por pipetas ó geringas, medida y expresada en porcentaje (%) .

2) Los requerimientos API aceptados por la prueba de agua libre no debe excederse de 3.5 mi. (1.4 %) .

3) Los resultados pueden ser utilizados para :

* Determinar la máxima cantidad de agua que puede ser usado antes que la separación ocurra (no exceder de 3.5 mi. ó en 1.4 %) en 250 mi. de

lechada.

- * Determinar la efectividad de los extendedores que permitirán adicionar más cantidad de agua sin que exista excesiva agua libre.
- * Determinar la óptima concentración del extendedor .

4.4 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA LECHADA

Si la densidad de la lechada preparada en el campo no es correcta, el cemento no tendrá las propiedades requeridas diseñadas para las condiciones del pozo y sus problemas. Entonces la densidad de la lechada es factor vital de importancia a considerar cuando se esta diseñando una lechada de cemento. En el campo, la única forma que podemos estar seguros de que el cemento está apropiadamente mezclado es manteniendo una correcta densidad de la lechada.

En el laboratorio la determinación de la densidad implica considerar entre otros : tipo de agua, cemento, aditivos, tiempo de espesamiento, control de pérdida de filtrado, condiciones del pozo, volúmenes absolutos de aditivos, etc,. Por lo tanto cuando se trabaja con densidad de lechadas lo que inicialmente se hace es calcular la cantidad de agua requerida en gal/sacos ó porcentajes (%) por peso de cemento; y el rendimiento de la lechada en pies³/sk., con la finalidad de pesar ó medir las cantidades de agua, cemento y aditivos y así obtener la densidad deseada.

Instrumentos usados para medir la densidad de la lechada :

1) **Balanza presurizada de densidades de fluidos** es similar en operación a la balanza convencional de lodos, la diferencia está en que el volumen de la lechada de cemento puede ser colocada dentro del vaso de la balanza bajo presión.

El propósito de colocar la muestra bajo presión es minimizar el efecto

del aire atrapado dentro de las lechadas de cemento cuando se está midiendo su densidad. Así cualquier aire atrapado es decrecido en su volumen y la medida de la densidad será correcta.

PROCEDIMIENTO

1) Una vez que la lechada ha sido preparada, es vaciada al vaso de la balanza presurizada y llenado hasta cerca del filo, aproximadamente 6.4 mm (1/4 de pulgada).

2) Colocar la tapa del vaso con la válvula hacia abajo (abierta) . Empujar la tapa contra la boca del vaso hasta contactar con la superficie. Algún exceso de lechada será expulsado fuera del vaso por la válvula (check valve), luego cerrar la válvula y colocar la tapa-seguro enroscándola.

3) El émbolo presurizador es similar en operación a una jeringa. El émbolo es llenado por sumersión en la lechada de cemento con el pistón interior hacia abajo, luego tiramos hacia arriba el pistón y el émbolo presurizador es llenado.

4) Inmediatamente el émbolo presurizador es contactado en el vaso de la balanza y presurizado por fuerza de la mano hacia abajo. Aproximadamente 50 lbs. ó un poco más.

5) Cuando en la válvula de tapa observamos que ofrece resistencia significa que la presión colocada dentro del vaso tiende a empujar la válvula a la posición de cerrado. Antes de desconectar el émbolo presurizador es importante liberar presión del pistón .

6) Ahora la lechada de cemento está lista para pesar. Para lo cual en el exterior de la balanza se encuentra una burbuja de aire igual a los instrumentos utilizados como nivel en albañirería. De tal manera que la balanza es colocada en un dispositivo especial terminado en filo. Luego

es balanceado hasta que la burbuja quede exactamente en el centro. La densidad es obtenida por lectura grabada en la balanza, en cuatro escalas. La densidad puede ser leída directamente en unidades de Lb/gal, peso específico, psi/1000 pies y Ib/ pie³ .

7) La presión es liberada levantando la válvula. Esto es hecho reconectando el émbolo presurizador y succionando un poco de lechada de cemento.

En el campo, es muy frecuente observar que se utiliza para determinar densidades la balanza de lodos.

Actualmente en el campo cada vez más se está usando los densitómetros radioactivos para pesar los fluidos, que están basados en la utilización de rayos gamma. A continuación presentamos una tabla que nos indica la variación de las medidas de densidad utilizando varios métodos de medición.

DENSIDADES DE LECHADAS DE CEMENTO

Por cálculo de pesos de lechada Lb/gal	con balanza Standard de lodos lb/gal	con densitómetro radioactivo lb/gal	con balanza de densidad de fluidos lb/gal
11.1	9.9	10.9	11.2
13.3	12.8	13.2	13.4
19.0	18.2	18.7	19.1
19.5	18.3	19.2	19.6
19.5	18.5	19.3	19.5

4.5 PRUEBA DE PERDIDA DE AGUA

El control de la pérdida de agua es una de las tres pruebas importantes que se toman en cuenta en una cementación forzada, al laboratorio son pedidas lechadas de cemento con una baja pérdida de filtrado en un rango

de 50 a 100 cc/30min . Para lo cual es necesario adicionar aditivos tales como la bentonita y agentes controladores de pérdida de filtrado.

Si a un cemento neto se le hace la prueba de pérdida de filtrado obtendremos resultados en un rango de 600 a 2,500 cc/30 minutos. Esta es la razón del uso de agentes específicos, para controlar la pérdida de filtrado.

Para determinar la pérdida de filtrado de una lechada de cemento se hace uso de los siguientes instrumentos :

- * Mezclador de cemento
- * Consistómetro atmosférico
- * Prensa filtradora de alta presión; este está constituido por una estructura cilíndrica diseñada especialmente para ser sometida a presión y temperatura.

El cilindro que contiene las lechadas de cemento tienen un diámetro interno de 2.130 +/- 0.005 pulgadas (54.1 +/- 0.01 mm) y la mínima altura interna debe ser 2.5 pulgadas (63.5 mm).

El cilindro es su conjunto deberá ser construido de materiales que no son afectados por soluciones alcalinas y tan ajustadas que una presión media puede ser conveniente admitida dentro y sangrado ó eliminada de la parte de arriba. El fondo del cilindro deberá ser tapada ó cerrado por una tapa teniendo un tubo de drenaje y empaquetadura para proveer un efectivo sellado.

El área de filtración deberá ser malla No. 325 (45 micrones) soportado por una malla No. 60 (250 micrómetros), ambas mallas fabricadas de acero inoxidable e integradas en una sola unidad. La presión es suministrada por medio de una botella de nitrógeno .

PROCEDIMIENTO

De la misma manera que en todas las pruebas de cementación la prueba de pérdida de filtrado es realizado tomando en cuenta la temperatura de circulación (BHCT).

Preparamos la lechada de cemento y se coloca en los depósitos del consistómetro atmosférico para ser calentado a temperatura de circulación siguiendo los cuadros API. Cuando finaliza el tiempo de calentamiento especificado en los cuadros API (tiempo vs. temperatura), la muestra es colocada en el deposito del " Hight pressure filter press ", con los sellos, el filtro, la tapa y cerrado herméticamente. Este deposito es llevado al sostén precalentado e inmediatamente conectado a una botella de nitrógeno y aplicamos una alta presión diferencial de 1000 psi ó también a baja presión diferencial, 100 psi. Medimos el volumen filtrado de agua a los 30 minutos (periodo largo) y ese volumen es multiplicado por 2 obteniéndose la pérdida de filtrado en cc/30 minutos . Si el periodo es corto, es decir que antes de los 30 minutos fue eliminada toda el agua de la lechada, entonces calculamos la pérdida de agua por filtrado mediante la siguiente fórmula :

$$Q_{30} = Q_t \times 5.477 / (t)^{1/2}$$

donde :

Q_{30} = es la cantidad de filtrado en 30 minutos

Q_t = es la cantidad de filtrado a un tiempo menor de
30 minutos, multiplicado por 2

t = es el tiempo medido

Los resultados pueden usarse para :

* comparar la eficiencia relativa de los aditivos para control
de pérdida de agua por filtrado

- * seleccionar la concentración óptima del aditivo para control de pérdida de agua por filtrado
- * determinar efectos detrimentales ó incompatibles de aditivos.

4.6 PRUEBA DE PERMEABILIDAD

Frecuentemente cuando un cemento ha sido deshidratado por una alta pérdida de agua, éste cemento endurecido todavía será muy permeable y permitirá el filtrado de lechadas a través de los canales, resultando en largas columnas de cemento deshidratado dentro de la sarta de la cañería.

Permeabilidades en el rango de 0.1 md. ó menos son considerados aceptables a ser usados en el campo petrolero.

El efecto de aditivos en el cemento alterará la permeabilidad del cemento endurecido. En la tabla adjunta se observa datos de permeabilidad de un cemento neto clase A a varias temperaturas de fraguado.

TEMPERATURA DE FRAGUADO °F	TIEMPOS DE FRAGUADO		
	1 DIA	7 DIAS	28 DIAS
80	0.1021 md	0.0002 md	0.0000 md
100	0.0047 md	0.0001 md	0.0008 md
120	0.0006 md	0.0000 md	0.0001 md
140	0.0007 md	0.0001 md	0.0006 md

Sin embargo, en la tabla que se muestra a continuación, observamos el efecto de la pérdida de filtrado sobre la permeabilidad y el tiempo en formar la costra (filter cake).

PERDIDA DE FILTRADO API A 1000 PSI cc/30 min	PERMEABILIDAD DEL FILTER CAKE A 1000 psi , md	TIEMPO PARA FORMAR CAKE DE 2 PULG. minutos
1,200	5.00 md	0.2 min

300	0.54	md	3.4 min
100	0.09	md	30.0 min
50	0.009	md	100.0 min

aparato usado es el permeaméetro para cemento, es similar al mostrado en la fig.7 y deberá determinar la permeabilidad al agua del cemento endurecido. Consta de lo siguiente :

a) Molde de acero inoxidable o bronce que deberá tener un largo de 1 pulgada (25.4 mm), un diámetro interno aconado de 1.102 pulgadas (27.99 mm) , a 1.154 pulgadas (29.31 mm) y un diámetro externo de 2 pulgadas (50.80 mm) y a 0.206 (5.23 mm) por 45 biseladas en los filos de la superficie y el fondo.

b) Portamolde o sotén. Deberá estar provista de anillos de jebe (selladores) para que la superficie y el fondo se cierren herméticamente.

c) Presión media.La presión será suministrada por un compresor de aire, nitrógeno ó cualquier otro sistema que contengan una constante presión de gas .

d) Pipetas graduadas, serán usados para medir el flujo a través de la muestra. Una pipeta de 0.1 mi. será usado para muestras de baja permeabilidad, pipetas de 1 mi. serán usados para muestras de alta permeabilidad.

PREPARACION DE LA MUESTRA

Antes de colocar la lechada de cemento en el molde, la lechada de cemento y el molde deben ser preparados como sigue :

a) Lechada de cemento, éste se prepara como en 4.2, es colocada dentro del molde limpio, el cual es puesto sobre un placa horizontal, agitando

25 veces y nivelando con una espátula. Otra placa es colocada sobre la superficie del molde cuidadosamente y la lechada en el molde es fraguado de acuerdo a cuadros API.

b) Cemento endurecido, después que la lechada de cemento ha sido fraguado al tiempo deseado, el molde conteniendo el cemento endurecido es tomado del autoclave o baño maría, destapado y enfriado bajo agua a temperatura ambiental.

PREPARACION DE LA PRUEBA

El molde conteniendo la muestra es sellado dentro del portamolde en el permeámetro. El gas desplazará mercurio de un cilindro el cual a su vez desplazará agua de otro cilindro, forzando el gas a través de la muestra de cemento. El cual será medido en una de las pipetas indicadas antes.

PRUEBA DE PERMEABILIDAD

a) La presión diferencial a usar para forzar el agua a través de la muestra de cemento endurecido será de 20 a 200 psi. La permeabilidad se calcula mediante la siguiente fórmula :

$$K = 14,700 \text{ QuL/AP}$$

donde :

K = permeabilidad en md

Q = rate de flujo en ml/seg

u = viscosidad del agua en cps.

L = longitud de la muestra en cm.

A = área de la sección transversal de
la muestra en cm²

P = presión diferencial en PSI .

b) El agua deberá fluir a través de la muestra por un máximo de 15 minutos hasta que 1 ml. haya sido forzado a través de la muestra dentro

del tubo de medición.

c) El flujo será medido por lo menos dos veces. reporte de la permeabilidad al agua de cemento endurecido será expresado en milidarcies (md) además de tiempo, temperatura y presión de fraguado.

4.7.- DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

En la prueba de laboratorio se ha demostrado y es lógico que, variando el contenido de agua en el cemento para mejorar la bombeabilidad, cambiamos la resistencia a la compresión del cemento así :

- * Baja proporción de agua en las lechadas resulta en una alta resistencia a la compresión del cemento.
- * Alta proporción de agua en las lechadas resulta en una baja resistencia a la compresión del cemento.
- * Excesiva proporción de agua en las lechadas resulta en una débil resistencia a la compresión del cemento.

Los aparatos usados en las pruebas de resistencia a la compresión son:

1) Autoclaves; es un aparato en la cual se realiza el fraguado de los cubos del cemento. Diseñados para trabajar hasta una máximo de temperatura de 500 oF y 3,000 Psi de presión. En él se simulan las condiciones estáticas del fondo del pozo. Se utilizan moldes de bronce de 2 pulg² X pulg² ; es decir de 4 pulg² de área. También el fraguado se puede realizar a presión atmosférica en un baño de agua maría .

2) PRENSA HIDRAULICA; es un aparato para realizar el quebrado de los cubos de cemento después del tiempo de fraguado. Consta de una prensa hidráulica, 2 plataformas y un manómetro ó medidor de presión.

PROCEDIMIENTO

La lechada de cemento es preparada y vaceada en los moldes de bronce,

los cuales son colocados dentro del autoclave (a presión) ó baño maría (presión atmosférica) por un tiempo determinado de acuerdo a los cuadros API, al termino del cual son removidos y sometidos a presión en la prensa hidráulica. Los resultados pueden usarse para:

- * Determinar el tiempo de espera antes de la perforación, este es usualmente determinada por el tiempo para alcanzar 500 psi de resistencia a la compresión.
- * Comparar extendedores, agentes de peso, materiales de pérdida de filtrado (o circulación) ó cualquier otro aditivo que pueda reducir el desarrollo a la resistencia a la compresión .
- * Determinar el grado de retrogresión de la resistencia por encima de 250 oF a algún periodo de tiempo.
- * Determinar la influencia de ataque por fluidos corrosivos tal como :
ácidos, agua sulfatada, etc, .

4.8.- PRUEBA DE FINURA DE SOLIDOS

Todas las clases de cementos portland son manufacturados, esencialmente con los mismos ingredientes y la misma manera pero en proporciones y tamaños de particulas ajustadas a las propiedades deseadas.

El agua requerida para cada tipo de cemento varía con la finura de la molienda ó área de superficie. Asi los cementos de alta resistencia inicial tendrán un área de contacto grande (grano fino); mientras que los cementos retardados tienen un área de contacto pequeño.

Los resultados de finura, siempre son reportados por el fabricante del cemento, las pruebas son realizadas mediante el turbidimetro.

4.9 PRUEBA DE DETERMINACION DEL TIEMPO DE BOMBEABILIDAD

A PRESION Y TEMPERATURA DEL CONSISTOMETRO

En el laboratorio se simulan las condiciones del pozo y se realizan

utilizando cuadros API. Estas condiciones son explicadas en el API, lo cual ha sido resumido en el cuadro adjunto. Para el caso específico de una cementación forzada. La prueba del tiempo de bombeabilidad tiene una ligera variación en comparación con las pruebas para otro tipo de cementación la diferencia está en la temperatura de circulación y la hesitación .

CUADROS BASE PARA SIMULACION DE CEMENTACION FORZADA

PROF. POZO (pies)	PRESION BOMBEO SUPERF. PSI	PRESION FONDO POZO PSI	BHCT POZO oF	BHCT CSG oF	BHCT SQUEEZE oF	TIEMPO PARA ALCANZAR BHCT MIN.	TIEMPO PARA APL. PRES. FINAL SQUE MIN
1000	500	3300	95	80	89	3	23
2000	500	4200	110	91	98	4	25
4000	500	5600	140	103	116	7	28
6000	800	6700	170	113	136	10	31
8000	1000	7800	200	125	159	15	35
10000	1300	9400	230	144	186	19	38
12000	1500	11800	260	172	213	24	42
14000	1800	14000	290	206	242	29	45
16000	2000	16500	320	248	271	34	48

El tiempo de espesamiento en un squeeze deberá ser más que el tiempo de bombeabilidad.

CONSISTOMETRO; En este aparato realizamos la prueba de espesamiento de las lechadas de cemento bajo condiciones simuladas del pozo; aplicando presión e incrementos de temperatura de acuerdo a los cuadros API.

La consistencia del cemento es obtenida en función del tiempo.

El consistómetro presurizado, consta de un cilindro rotativo equipado

con unas paletas estacionarias, colocadas dentro de una cámara presurizada, diseñada para trabajar hasta presiones de 25,000 psi y un máximo de temperaturas de 400 oF.

La presión es generada por una bomba de aire y todo un sistema hidráulico con un reservorio normal, cañerías, válvulas, filtros y otros accesorios requeridos.

El calor es abastecido por un calentador tubular interno de 2,000 watts controlado por un transformador variable.

El aparato está proveído de termómetros para la determinación de la temperatura en el baño de aceite ó de la lechada de cemento. El deposito que al cemento es rotado a una velocidad constante de 150 rpm por un motor y un apropiado mecanismo de reducción. La consistencia de la lechada es leída como voltaje DC., de un mecanismo de potenciómetro dentro del cilindro presurizado, el cual contiene un resorte estandarizado de torsión para resistir la tendencia de rotación de las paletas. Esta tendencia rotacional es proporcional a la consistencia de la lechada de cemento.

Las válvulas, interruptores, bombitas de luz y otros accesorios integran al consistómetro. Todo este mecanismo es montado en un gabinete de acero inoxidable.

Además tiene un sistema de enfriamiento con agua y sistema de drenaje de agua.

PROCEDIMIENTO

A diferencia de otros tipos de cementación, en el laboratorio para realizar pruebas de cementación forzada, hacemos una variación en el trabajo con el consistómetro, tal es el caso cuando simulamos una operación de cementación forzada por hesitación.

La lechada de cemento preparada, es colocada inmediatamente dentro del cilindro rotativo, eliminamos las burbujas de aire, haciendo rotar las paletas manualmente, luego lo tapamos e introducimos en la cámara presurizada donde aplicamos presión, temperatura de acuerdo al cuadro API requerido.

Determinado el cuadro API requerido, esperamos el tiempo en que el cemento alcance 100 unidades de consistencia y lo reportamos como tiempo de espesamiento en horas, minutos, de acuerdo al acelerador ó retardador (aditivos) que componen la lechada de cemento.

4.10 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS

Las pruebas de reología son realizadas en :

a) Viscómetro ó viscosímetro; comunmente se usa el viscosímetro FANN modelo 35 A . Este aparato consta de un motor sincronizado con 2 velocidades para obtener velocidades rotacionales de 600, 300, 200, 100, 6 y 3 RPM (10, 5, 3.3, 1.7, 0.1 y 0.05 rev/seg) . Fundamentalmente consta de : rotor, bobina y resorte .

El rotor, funciona a velocidad rotacional constante para cada una de las velocidades arriba indicadas. La rotación del rotor en las lechadas de cemento produce un torque en la bobina por lo cual el resorte refrena el movimiento y un dial adjunto recibe la indicación del desplazamiento de la bobina y dá lectura adimensional de 0 a 300. Estas medidas son obtenidas del esfuerzo de corte a varias velocidades.

b) procedimiento para las pruebas de reología

Las pruebas de reología son desarrolladas de acuerdo al API RRP 10-B.

La lechada de cemento es preparada y agitada por 20 minutos en un consistómetro atmosférico, calentado a temperatura de circulación del

obtenemos los parámetros reológicos : μ_p , T_y , n' y k' .

El esfuerzo de gel es medido de la siguiente manera :

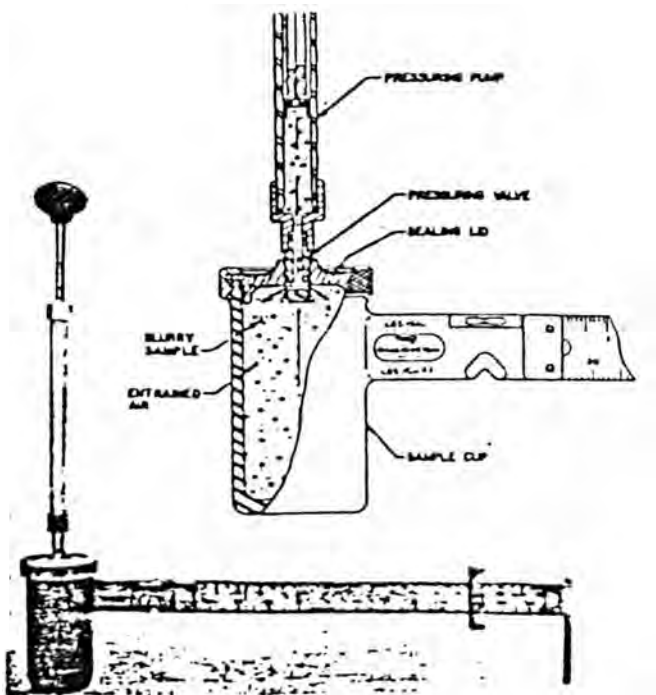
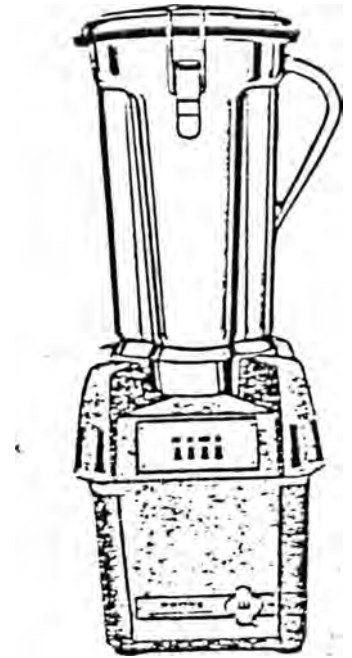
- * Someter la lechada a 500 rpm por 10 segundos.
- * Dejar reposare por 10 segundos reagitar a 3 rpm y anotar la máxima lectura del dial convertido a lbf/100ft² . Este es el esfuerzo de gel inicial a los 10 segundos.
- * Volver a someter la lechada a j 00 rpm por 10 segundos y esperar 10 minutos.
- * Repetir la medida y obtener el esfuerzo de gel a los 10 minutos .

Los resultados pueden usarse para :

- * Determinar modelos y parámetros reológicos para usar en cálculos de velocidad de bombeo critico para flujo turbulento y presión de fricción a cualquier velocidad de bombeo .
- * Medir el esfuerzo de gel inicial de lodo y cemento para usos en diseño de servicio Sloflo .
- * Determinar compativilidad de lodo/espaciador, lodo/cemento, espaciador/mezclas de cemento.
- * Evaluar lechadas tixotrópicas.
- * Ayudar en diseños de lechadas pesadas.
- * Determinar dificultades potenciales tales como una excesiva viscosidad causando problemas de mezclado ó excesivo desarrollo del esfuerzo de gel causando problemas de desplazamiento (hesitación squeeze).

MEZCLADOR

El mezclador Waring, utilizado en la preparación de lechadas de cemento - de acuerdo a los requerimientos API.

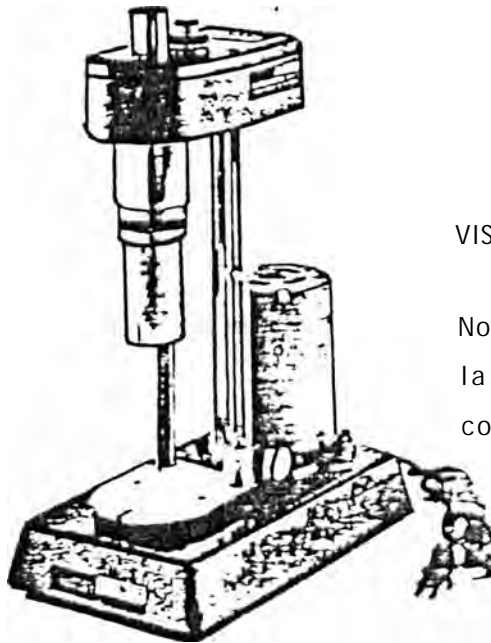
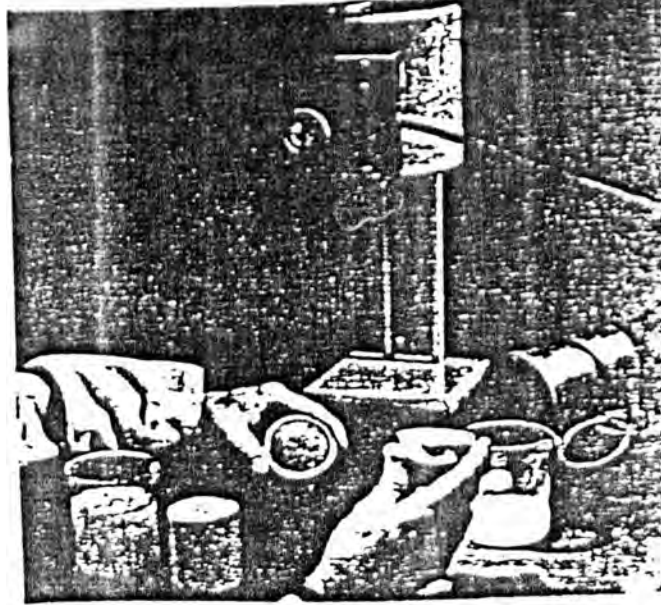


BALANZA DE DENSIDADES

=====
Aparato que nos permite medir la densidad de una lechada de cemento sin aire atrapado.

EQUIPO DE PERDIDA DE FILTRADO HP- HT

Equipo diseñado por BAROID y recomendado por API, para determinación de pérdida de agua por filtrado en lechadas de cemento a 1000 psi y temperaturas altas.

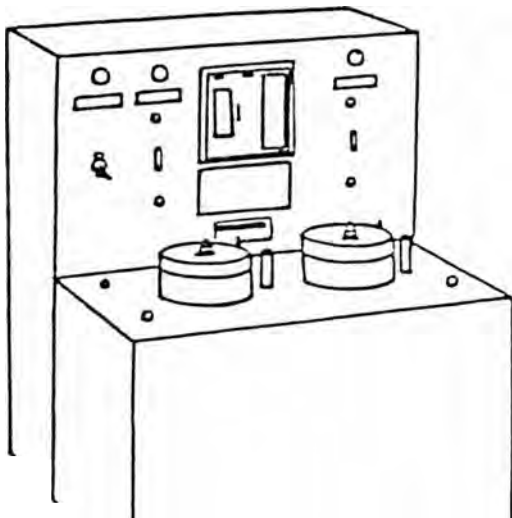
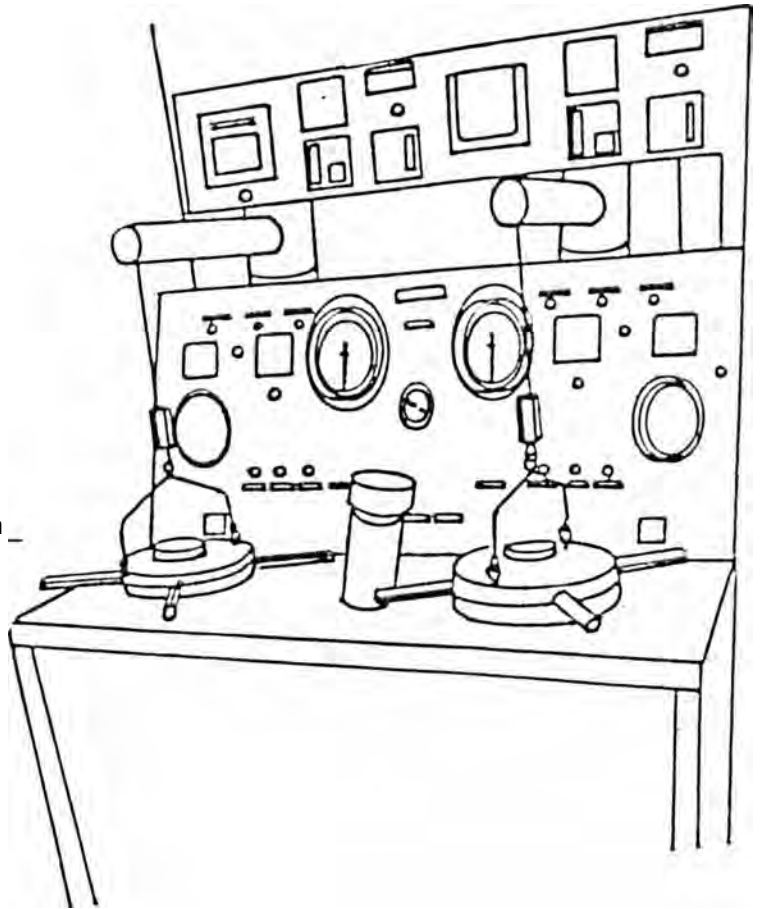


VISCOMETRO FANN MODELO 35A

Nos proporciona lecturas adimensionales con las cuales obtenemos los parámetros reológicos de las lechadas de cemento.

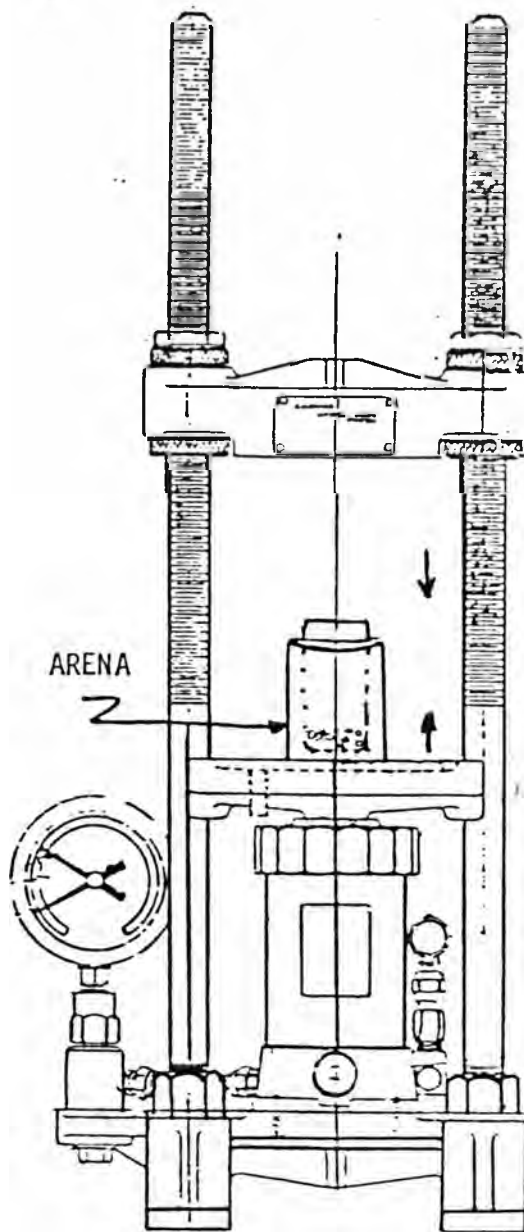
CONSISTOMETRO PRESÜRIZADO

Aparato muy importante para determinar el tiempo de bombeabilidad de lechadas de cemento - en condiciones simuladas de temperatura y presión del pozo.



CONSISTOMETRO ATMOSFERICO

Diseñado para medir el tiempo de bombeabilidad de cemento en condiciones de temperatura del pozo. Además, es utilizado con lechadas a las cuales se les va a determinar la pérdida de filtrado, los parámetros reológicos y agua libre.



PRENSA HIDRAULICA

En el se realizan las pruebas de rompimiento de arena de fracturamiento y también los cubos de cemento para determinar la resistencia a la compresión.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En primer lugar cabe mencionar que para realizar un buen trabajo es necesario tener un buen diseño del tipo de cementación a realizar, teniendo en cuenta los parámetros y datos del pozo, con la finalidad de optimizar la técnica a aplicar según sea el caso.

5.1.- DISEÑO DE MATRIZ PARA LA CEMENTACION

Para tener una mejor ilustración a continuación se mostrará la forma de realizar un diseño según el tipo de cementación a efectuar .

a) CEMENTACION PRIMARIA

Entiéndase como matriz, los procedimientos a seguir al realizar un diseño de cementación, mediante el uso de formatos establecidos, con la finalidad de simplificar y abreviar algunos cálculos cuando esto es realizado en el campo de operaciones, especialmente para forros de producción puesto que es el trabajo más completo en lo que se refiere a la cementación primaria, con tal objeto se explica a continuación la forma de llenar el formato (adjunto) de cálculo de cementación y recomendación respectiva.

HOJA DE CALCULO DE LA CEMENTACION

Columna (I),

Está columna indica los diámetros del pozo que son registrados por cáliper, al finalizar la perforación, y como se observa son varias dimensiones de diámetro, que generalmente se producen al no mantener el lodo de perforación en condiciones óptimas requeridas y además por problemas de operación .

Columna (II)

Está columna esta subdividida en cuatro columnas, para los que en

caso, que usen cuatro tipos de fluidos de cementación (cuatro lechadas). En esta columna se especifican los intervalos según la variación de los diámetros del hueco (pozo).

Columna (III)

En esta columna se anota la longitud del intervalo de la sección según el diámetro registrado y esta expresado en 100 pies .

Columna (IV)

Es un factor obtenido de las tablas de cementación, para poder determinar el volumen de fluido requerido para llenar la sección establecida, según el diámetro del hueco, esta expresado en $\text{pie}^3/100 \text{ pies}$.

Columna (V)

En esta columna se anota el volumen de fluido de cementación (lechada) calculado y se obtiene multiplicando la columna (III) por la columna (IV), siendo el orden de acuerdo al tipo de lechada pre-establecido. Generalmente la columna 1 es la primera lechada a ser bombeada , la columna 2 es la segunda lechada, y así sucesivamente siendo el último la lechada principal, en nuestro caso la lechada principal es la columna 3 .

PORCENTAJE DE EXCESO

Para determinar los excesos requeridos, se recomienda obtener el porcentaje de variación entre el volumen teórico y el volumen calculado y proceder según la experiencia que se tiene en la zona de operación.

CANTIDADES RECOMENDADAS

En esta parte se procede según las fórmulas adjuntas según sea el caso, asimismo cabe la necesidad de indicar que el rendimiento esta en función del porcentaje de bentonita a usar, y éstas están indicadas en los manuales de campo.

peso de cemento + peso de agua + peso de aditivo

p -----

vol.abs.de agua+vol.abs. cemento +vol.abs.aditivo

vol. absoluto = peso de la sustancia/ spgr sust. x 8.34 galones

vol.absoluto (gal)

rendimiento = yield (ft³/sk)

7.48

vol. de desplazamiento = V.D.= vol.interno del csg (bbl/ft) x H (ft)

EJEMPLO : cálculo para la lechada de b% de bentonita ?

PESOS:

Cemento	94 lbs/sk
Bentonita D20	0.04 x 94 = 3.76 lbs/sk
Reductor de filtrado D60	0.007 x 94 = 0.658 lbs/sk
Antiespumante D47	0.01 x 94 = 0.94 lbs/sk
Agua de mezcla	7.761x8.32 = 64.57 lbs/sk
Total	163.928 lbs/sk

VOLUMENES ABSOLUTOS :

cemento	: 3.6 gal/sk
bentonita D20	: 0.171 gal/sk
eòo	: 0.047 gal/sk
d47	: 0.008 gal/sk
Agua	: 7.761 gal/sk
Total	= 11.6 gal/sk

Por lo tanto :

densidad = p = 14.1 lbs/gal

rendimiento = I = 1.55 pies[^]/sk

HOJA DE RECOMENDACION DE CEMENTACION

Prácticamente esta es una hoja de resumen en el cual se indican las informaciones del pozo, tales como las profundidades, diámetro promedio, formaciones productivas indicados por los topes superiores e inferiores, los forros recomendados a bajar al pozo, así como la especificación del lavador químico, espaciador y propiedades del fluido de cementación (lechada).

En esta hoja se indica el número y lugar en que se debe ubicar los centralizadores, con la finalidad de evitar canalizaciones y el espaciamiento, por lo general es cada 60 pies, es decir cada dos puntas de tuberías de revestimiento. Fórmula para la calcular ubicación de centralizadores:

$$L = \left[\frac{\left((D.E.)^4 - (D.I.)^4 \right) Y}{3.066 \times 10^{-6} \times W \times \text{Sen } \theta} \right]^{1A}$$

donde :

D.E. = diámetro exterior de la tub. de revest. pulgadas

D.I. = diámetro interior de la tub. de revest. pulgadas

W = peso de la tubería de revestimiento en lbs/pie

θ = ángulo de inclinación ó desviación en grados

Y = deflexión de descentralización, pulgadas

L = longitud de espaciamiento entre centralizadores en pies.

Ejemplo : Se requiere un grado de centralización (θ) de 80% para que al bombear a 10 bpm, empiece el movimiento en el Standoff (sección anular mínima por pegamiento de la sarta de tuberías de revestimiento en la pared del pozo).

Datos : tub. de revest. D.E. 5 1/2 pulgadas
 D.I. *f.95 pulgadas
 peso 15.5 Lbs/pie /
 diámetro del pozo 7 5/8 pulgadas
 desviación 6 grados

SOLUCION :

$$V_{OL} = \text{Standoff} = (D_{\text{POZO}} - D_{\text{tub}}) / 2$$

$$w_m = 0.8 (7.625 - 5.5) / 2 = 0.85$$

$$Y = (R_{\text{pozo}} - R_{\text{t.r.}}) - w_m$$

$$Y = \frac{7.625 - 5.5}{2} - 0.85 = 0.213$$

Reemplazando en la primera ecuación :

$$L = \left(\left(5.5 \frac{A}{Y} - \left(\frac{f.95}{Y} \right) \right) + 0.213 \right) \cdot 3.066 \times 10^{-6} \times 15.5 \cdot \text{Sen } 60$$

1A

$$L = 60 \text{ pies}$$

Respuesta : colocar centralizadores cada dos puntas de tuberías de revestimiento de c 30 pies de longitud

b) CEMENTACION FORZADA

Los tipos de cálculos que se requieren para disponer un trabajo de cementación a presión están contenidos de un modo general en una las tres clase siguientes :

1) Diseño de la lechada de cemento (rendimiento, tiempo de espesamiento, etc.).

La primera consideración en el diseño de una lechada de cemento es el requerimiento de agua, del manual de cementación se puede determinar este parámetro en gal/saco.

Teniendo este valor se procede a determinar el volumen total de la lechada teniendo en cuenta su rendimiento en pie³/sk., el volumen total de lechada se puede indicar en pie³ ó barriles .

2) Volúmenes de las tuberías de producción, tuberías de revestimiento, espacio anular.

3) Presiones (límite de superficie, hidrostática, de ruptura y colapso de tuberías , etc,).

Antes de analizar cualquier cálculo, es esencial tener información exacta sobre el pozo. Debe tenerse en cuenta que los volúmenes de desplazamiento son muy importantes, a éstos hay que darles una consideración muy cuidadosa.

La consideración más importante en lo que se refiere a las presiones e.j un trabajo de cementación forzada, es la presión máxima de superficie que fija el operador. Se deben hacer cálculos para determinar los gradientes de presión del sistema de cemento, del fluido desplazo y del fluido del espacio anular.

La presión de colapso y ruptura de la tubería usado para el squeeze y la

tubería de revestimiento deben también estudiarse cuando se diseña un trabajo a presión.

Las siguientes reglas se deberán seguir estrictamente

1) La presión en el espacio anular en la parte superior del tapón no deberá exceder la presión de ruptura interna de la tubería de revestimiento.

2) La presión diferencial entre la tubería y el espacio anular no debe sobrepasar la presión de ruptura o de colapso de la tubería (dependiendo de la dirección del diferencial).

3) La presión diferencial entre la presión (squeeze pressure) de cierre en las perforaciones y la presión por empacador en el anular no debe sobrepasar la presión de colapso de la tubería de revestimiento.

c) TAPON BALANCEADO

En primer lugar, usando el manual de datos de campo, se encuentra el volumen en barriles por pie lineal tanto para el espacio anular como la tubería o tubo de perforación. La relación del volumen de la tubería con el volumen anular es un factor conveniente para el balanceo de las columnas de fluido. Esta se encuentra dividiendo el volumen de la tubería entre el volumen del anular. Después de determinar el volumen del espaciador, el lavador químico o el agua que se va a usar antes de la lechada de cemento, multiplique dicho volumen por la relación tubería - espacio anular.

El resultado es el volumen del fluido que debe usarse en la tubería detrás de la lechada de cemento para balancear la columna del espacio anular.

Pasos para balancear un tapón de cemento:

- 1) Volumen de la lechada de cemento en pies cúbicos y número de sacos requeridos :

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \text{longitud del tapón deseada en pies} \times \text{volumen del hueco} \\ &= \text{pies cúbicos/pies} \times \% \text{ de exceso} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{sacos de cemento} &= \frac{\text{pies cúbicos de lechada}}{\text{rendimiento de la lechada}} \end{aligned}$$

- 2) Lavador químico del balance

$$\begin{aligned} \text{barriles de lavador} \times \text{relación} &= \frac{\text{vol. tubería}}{\text{vol. tb.revest.}} = \text{barriles de agua} \end{aligned}$$

- 3) Calcúlese la altura de la columna de cemento balanceada antes de sacar la tubería :

$$(1) \quad H = \frac{\text{volumen de lechada en pies cúbicos}}{\text{vol. anular pie}^3/\text{pie} + \text{vol.tb. pie}^3/\text{pie}}$$

- 4) Volumen del desplazamiento de lodo = V.D.LODO

$$\begin{aligned} \text{V.D.LODO} &= (\text{longitud de la tubería} - H) \times \text{vol.tb (bbl/pie)} - \text{barriles} \\ &\quad \text{de agua de (2)} \end{aligned}$$

EJEMPLO DE APLICACION

TAPON BALANCEADO PARA CONTROL DE AGUA ZA - 7174

1.- DATOS DEL POZO

A) Tub. de perforación 4 1/2 pulg. 16.6 lb/pie

Diámt. externo 4 1/2 pulg.

Diámt. interno 3.826 pulg.

Capacidad 0.01422 bbl/pie

Capacidad 0.07984 pie³/pie

B) Tub. de perforación 4 1/2 pulg. - Diámt. del pozo 10 pulg

Capacidad 0.0775 bbl/pie

Capacidad 0.4350 pie³/pie

C) Diámetro del pozo 10 pulgadas

Capacidad 0.0971 bbl/pie

Capacidad 0.5454 pie³/pie

2. - CALCULO DE CANTIDAD DE CEMENTO

para colocar un tapón de 700 pies se requiere:

$$700 \text{ pie} \times 0.5454 \text{ pie}^3/\text{pie} \times 1.43 \text{ pie}^3$$

$$\text{cemento} = 267 \text{ sacos}$$

3. - ALTURA DEL TAPON

$$\text{Volumen de lechada} = 267 \times 1.43 \text{ pie}^3/\text{sk} = 382 \text{ pie}^3$$

luego aplicando la ecuación (1) :

$$382 \text{ pie}^3$$

$$H = \frac{\text{-----}}{0.4350 + 0.07984} = 742 \text{ pies}$$

$$0.4350 + 0.07984$$

* AGUA POR DETRAS

$$\text{Agua por adelante} = 10 \text{ barriles}$$

$$\text{Agua por detrás} = 10 \times 0.01422 / 0.0775$$

= 1.8 barriles

4.- DESPLAZAMIENTO

Usando la fórmula respectiva se tiene :

$$(2200 - 749) \times 0.01422 = 20.6 \text{ barriles}$$

por lo tanto : $20.6 - 1.8 = 18.8$ barriles

se requiere aproximadamente 19 barriles de lodo para

colocar el tapón y sellar la entrada de agua,

en total se requiere un total de 20.6 barriles de fluido

entre agua y lodo para balancear el tapón.

5.2 EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA

Generalmente en una cementación de pozos lo que se desea principalmente es obtener un buen registro de CBL , puesto que éste indicador nos mostrará cuán efectivo fué el trabajo realizado, desde el punto de vista de lo diseñado para las condiciones requeridas por el pozo en particular, pero sabemos de antemano que es muy difícil conseguir un éxito del 100% exacto con el diseño , puesto que existen otros parámetros que dificultán el éxito esperado, tal es así, que en las operaciones de cementación en general, nos satisfase en forma relativa, alcanzar un buen registro CBL en los objetivos primarios del pozo, teniéndose aún que mencionar que el registro CBL/VDL no son pues el 100% fiable de indicar si la adherencia es buena ó mala en trabajo de cementación. En un principio; muestro un cuadro de resumen (21 pozos) en los cuales se indican los resultados técnicos, desde el punto de vista del análisis de los registros de CBL/VDL, tomados en los pozos del proyecto Laguna-Zapotál.

CUADRO DE RESUMEN DE POZOS CEMENTADOS EN EL PROY. LAGUNA-ZAPOTAL

POZO	CAMPO	ADHERENCIA DEL CEMENTO			COMENTARIO
		BUENA	REGULAR	POBRE	
					de corrida
7154	Calamar	7850-8800'	4650-7850'	resto	tope 2700'
7149	Zapotal		6140-7350'	resto	tope 800'
7169	Zapotal	6950-7145'	4560-4750'	resto	tope 2000'
7148	Zapotal		5650-5900'	resto	tope 400'
7161	Zapotal		6000-7736'	resto	tope 400'
7166	Zapotal	4680-4910'	5000-5350'	resto	tope 2100'
7158	Laguna N.	5700-6300'	resto	2470-4353'	tope 2000'
		6400-6915'			
7142	Zapotal	7050-7420'	resto	6000-6600'	tope 3600'
7141	Zapotal	7000-7410'	MR	MR	tope 2900'
7139	Zapotal	6420-7600'	MR	MR	tope 2100'
7132	Zapotal	7200-7500'	3500-6980'	resto	tope 2000'
7131	Zapotal	6800-7780	MR	MR	tope 3500'
7126	Zapotal		MR	MR	tope 2000'
7128	Zapotal	7680-7790'	MR	MR	tope 2000'
7122	Zapotal		MR	MR	tope 2800'
7121	Zapotal		MR	MR	tope 2800'
7136	Zapotal	3750-5700	MR	MR	tope 3000'
7149	Zapotal		MR	MR	tope 2500'
7152	Zapotal		MR	MR	tope 2800'
7151	Zapotal	4830-4925	MR	MR	tope 3000'
7193	Laguna E.	6700-7930'	MR	MR	tope 2000'

De cuadro arriba mostrado se tiene las siguientes observaciones:

- 1) Con respecto a la buena adherencia en lo general se han tomado los intervalos más continuos en los cuales se presenta una buena colocación de cemento en los objetivos primarios del pozo.

- 2) En relación a una marcada diferencia entre, buena, regular y pobre adherencia, vemos que en el cuadro estos intervalos son indicados aproximadamente según sea el caso del registro analizado.
- 3) La nomenclatura MR significa que existe una constante variación entre una regular y una pobre adherencia de cemento tanto en la tubería de revestimiento como en la formación (pared del pozo).
- 4) La predominación de una regular y pobre adherencia en algunos pozos se debe a que en esos pozos las condiciones del lodo fueron malas debido que se estaban experimentando nuevas químicas para el tratamiento del lodo de perforación, dando como resultado inclusive pozos de diámetro exagerado (hasta de 16" con broca de 7 7/8 ").

EVALUACION TECNICA EN GENERAL DE LOS TRABAJOS DE CEMENTACION

A continuación se presenta un cuadro esquemático, en el cual se resume una evaluación realizada de algunos pozos cementados en el proyecto de Laguana-Zapotal.

Pozo : 7152 Zapotal Equipo : GMB 43

1) DESVIACION :

Dentro del rango establecido en el programa .

2) DENSIDAD DE LA LECHADA :

Aproximado al diseño recomendado.

3) CAUDAL DE BOMBEO VS. DIAMETRO DEL POZO :

El máximo caudal alcanzado fue de 10 BPM, éste rate es incompatible para diámetros mayores de 10 3/4" .

4) CBL/VDL:

El registro muestra muy pobre adherencia en lo general.

5) PRESIONES :

Las presiones fueron dentro del rango establecido.

6) LODO DE PERFORACION :

La densidad del lodo estuvo dentro del diseño con la única excepción de que el punto de cedencia fue muy alto, este valor fue de 14 lb/100 ft² .

7) COMENTARIO :

No se observó retorno de CW-100 y SP-3000

POZO : 7161 ZAPOTAL EQUIPO: GMB 43

1) DESVIACION:

Tuvo una ligera desviación, pero insignificativa.

2) DENSIDAD DE LA LECHADA :

Aproximado a lo diseñado en la recomendación .

3) CAUDAL DE BOMBEO VS. DIAMETRO DEL POZO

Hubo buenas condiciones para una adecuada remoción del lodo de perforación.

4) CBL/VDL :

No resulta muy uniforme en lo general.

5) PRESION :

Fue exactamente a lo diseñado por la recomendación.

6) LODO DE PERFORACION :

Las condiciones del lodo fueron buenas excepto el punto de cedencia ,fue muy alto a lo requerido, 13 lb/100 ft² .

7) COMENTARIO :

Retorno 175 sks. de cemento, el caudal de acondicionamiento del lodo debería ser de 8 BPM .

POZO : 7148 Zapotal Equipo : GMB 42

1) DESVIACION :

Se produjo poca desviación, siendo el máximo de 4 .

2) DENSIDAD DE LA LECHADA :

Fue aproximado al diseño recomendado .

3) CAUDAL DE BOMBEO VS. DIAMETRO DEL POZO :

Se tuvo regulares condiciones para una adecuada remoción del lodo, los cuales no se consiguió por el bajo rate .

4) CBL/VDL :

Se muestra regulares adherencias de cemento, pero por lo general fue muy pobre la adherencia en todo el pozo .

5) PRESION :

Fue aproximadamente parecido al diseño recomendado .

6) LODO DE PERFORACION :

Parcialmente buenas condiciones, debido que el punto de cedencia fue muy alta, este valor fue de 15 Ib/ 100 ft² .

7) COMENTARIO:

Se paro la operación por un instante al detectarse fuga en tubing de 2" ; retorno 150 sk. de cemento .

POZO : 7147 ZAPOTAL EQUIPO : GMB 44

1) DESVIACION :

La desviación registrada es insignificante.

2) DENSIDAD DE LA LECHADA :

No hubo uniformidad con el diseño recomendado.

3) CAUDAL DE BOMBEO VS. DIAMETRO DEL POZO

Irregulares condiciones para tener una adecuada remoción del lodo de perforación .

4) CBL/VDL :

El registro indica por lo general muy pobre adherencia.

5) PRESION :

Aproximado al diseño recomendado para el pozo.

6) LODO DE PERFORACION :

Las condiciones del lodo fueron regulares con respecto a los requerimientos deseados para el pozo.

7) COMENTARIO :

Retornaron el lavador y el espaciador, la lechada al 8% y 4% fueron bombeados a menor rate de lo diseñado .

POZO : 7158 ZAPOTAL EQUIPO : G-8

1) DESVIACION:

Desviación brusca en el intervalo 4000-4800' con una desviación máxima de 10 .

2) DENSIDAD DE LA LECHADA :

Fueron aproximados al diseño recomendado para el pozo.

3) CAUDAL DE BOMBEO VS. DIAMETRO DEL POZO :

Debido a problemas de operación hubo la necesidad de hacer tapón balanceado para corregir la desviación .

4) CBL/VDL :

Por lo general el registro muestra buena adherencia •

5) PRESION :

Las presiones fueron similares al diseño recomendado .

6) LODO DE PERFORACION :

Se tuvo buenas condiciones del lodo según el diseño .

7) COMENTARIO :

Es posible tener un control adecuado de la reología del lodo de perforación, para los requerimientos del pozo .

POZO : 7166 ZAPOTAL EQUIPO : G-8

1) DESVIACION :

Fue normal a lo establecido, teniéndose una máxima desviación de 5 , que esta dentro de lo esperado .

2) DENSIDAD DE LA LECHADA :

Estuvo dentro de lo diseñado por la recomendación .

3) CAUDAL DE BOMBEO VS. DIAMETRO DEL POZO :

Se tuvo buenas condiciones par el revoque del lodo.

4) CBL/VDL :

Muestra buena adherencia en el objetivo primario .

5) PRESION :

Se mantuvo dentro del rango recomendado por el diseño.

6) LODO DE PERFORACION :

Se tuvo buenas condiciones reológicas para el diseño .

7) COMENTARIO :

La reciprocación de la cañería es importante durante el acondicionamiento del lodo de perforación .

POZO : 7169 ZAPOTAL EQUIPO : G-9

1) DESVIACION :

Se registro leves desviaciones, siendo el máximo de 5.

2) DENSIDAD DE LA LECHADA :

Se mantuvo dentro del rango recomendado por el diseño.

3) CAUDAL DE BOMBEO VS. DIAMETRO DEL POZO :

Existió buenas condiciones para remover el lodo de perforación.

4) CBL/VDL :

El registro por lo general muestra buena adherencia de cemento, tanto a la pared del pozo como al casing .

5) PRESION :

Se mantuvo dentro del rango recomendado por el diseño .

6) LODO DE PERFORACION :

Por lo general se tuvo buenas condiciones del lodo de perforación, para los requerimientos del diseño .

7) COMENTARIO :

La reología del lodo deberá ser igual a la entrada y a la salida del pozo , para tener buenas condiciones de operación de cementación.

ANALISIS ECONOMICO DE LA CEMENTACION

En realidad los costos de una cementación varían constantemente de un pozo a otro debido a una serie de parámetros y condiciones del pozo a cementar, para tener una idea se adjunta unos ejemplos reales de los costos de cementación que han sido ejecutados en el proyecto Laguna-Zapotal, teniéndose presente que las tarifas de costos son los aprobados por el usuario del servicio, en este caso PETROPERU S.A. . A partir de estos ejemplos (adjuntos) se presentan los siguientes análisis de la variación relativa de los trabajos de cementación :

En primer lugar trataremos sobre los costos del servicio;

- 1) UNIDAD DE BOMBEO; este rubro influye en mayor grado de acuerdo a la distancia que existe entre la base de operaciones y la locación, en el cual se prestará el servicio, y según las cantidades de unidades requeridas para llevar a cabo dicha operación en el pozo .
- 2) UNIDAD DE TRANSPORTE; este rubro se refiere a la unidad que usa el Ing. de servicio, y en forma similar al caso anterior su costo es directamente proporcional a la distancia entre la base de operaciones y ubicación del pozo en que se prestará el servicio •
- 3) CARGO POR PROFUNDIDAD; esta referido básicamente a la profundidad del pozo, por lo tanto varía directamente con la profundidad .
- 4) TRANSPORTE DEL MATERIAL AL POZO; este rubro indica el valor que se cobra por transportar material a granel hacia la locación, éste valor es directamente proporcional a peso en toneladas y a la distancia en Km..
- 5) SERVICIO DE MEZCLADO ; esto se refiere a la mezcla en seco que se realiza en la base de operaciones para obtener según el diseño .
- 6) TANQUE; esto costo sólo se incluye cuando la mezcla a transportar excede de más de 20 m³ , es decir cuando hay que adicionar a los

- que transportan la mezcla de cemento en seco hacia el pozo .
- 7) REGISTRADOR DE PRESION PACR; viene a ser el costo del uso de éste computador de campo, el cual nos permite tener los parámetros de cementación en forma constante y los que se pueden ajustar en forma inmediata cualquier variación de valores a lo recomendado .
 - 8) UNIDAD DE BOMBEO; el costo no es igual a lo referido en (1), debido que en este rubro se considera el costo por su servicio en horas y el costo aumentará lógicamente de acuerdo al número de unidades.
 - 9) TRANSPORTE DEL MATERIAL ENVASADO; esto se refiere a los aditivos que son utilizados al momento de iniciar la cementación y durante la cementación tal como ejemplo el D47 .

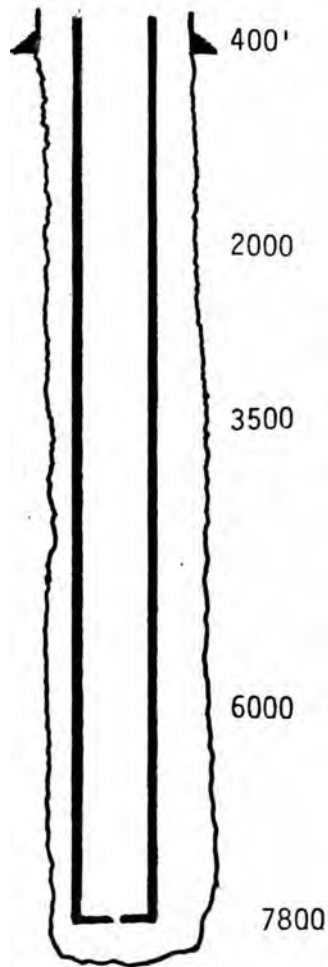
COSTOS DE LOS PRODUCTOS

Los productos generalmente aditivos sólidos ó líquidos son muy variables en lo que se refieren a costos y básicamente este costo influirá dependiendo del tipo de aditivo y cantidad de aditivo que se usará en forma particular para cada diseño de cementación requerido para un pozo en particular.

Sin embargo, existen algunos sistemas que son comunmente usados en la cementación de pozos en las operaciones en el Noroeste del Perú. Estos son : CW-100 Y SP-3000 en sistemas líquidos mientras que como aditivos sólidos son usados la bentonita y la baritina. Estos productos influirán en el costo total de cementación, en mayor grado si es que las cantidades a emplearse son mayores, tal es el caso que para pozos profundos se requerirán mayores cantidades de estos productos que para pozos superficiales. Los aditivos líquidos son expresados en barriles, mientras que los aditivos sólidos son expresados en libras.

Datos del Pozo (Zapotal 7123)

Verdun	2260
Talara	3860
Echino	4190
Ostrea	6490
Nogdión	7800



I	II
8%	8%
8%	6%
4%	4%
0%	0%

Gradiente de Fractura	: 0.79 psi/pie
Tope de cemento	: Superficie
BHST	: 150°F
Cañería Guía	: 9 5/8" a 400 pies
Ó Trépano -	: 7 7/8
Ó Pozo	: 10 1/4
Casino de Producción	: 0-3000 pies Csa 5 1/2 I-80 20 Lbs/pie
	: 3000-7800 pies Csa 5 1/2 N-80 17 Lbs/pie

ANAYL CORP. - BAHONAL

Alternativa # 2

A) Lavador Químico

CW 100 - 6,359 Lts (40 Bbls)

B) Espaciador 3000

Spacer 3000 - 4,769 Litros (30 Bbls)

Densidad = 11 Lbs/Gal.

C) Lechada Yemoveddra - 764 Pies^

Cemento Clase "A"	395 Sxs
Bentonita 8%	1350 Kas (2970 Lbs)
DS73 - 0.235 Gls/Sx	351 Lts (93 Gis)
DS80 - 0.08G1s/Sx	120 Lts (32 Gis)
D47-1 Gal/32Bbls	11 Lts (2.8G1s)
Densidad	1.57 Kas/Lt (13.1Lbs/Gal)
Agua reouerida	98 Bbls.

D) Lechada sioerior r -€12 pies

Cemento Clase "A"	345 Sxs
Bentonita 6%	884 Kgs (1946 Lbs)
DS 73 - 0.235 Gls/Sx	307 Lts (81 Gis)
DS 80 - 0.08Gls/sx	105 Lts (28 Gis)
D47 - 1Gal/32Bbls	9 Lts (2.4 Gis)
Densidad	1.62Kns/Lt (13.5Lbs/Gal)
Agua reouerida	76 Bbls.



E) Lechada Intermedia - 1020 pies"

Cemento Clase "A" : 655 Sxs
Bentonita 4% : 1119 Kos (2463 Lbs);
D 112 - 0.5% : 140 Kgs (308 Lbs)
DS65 - 0.4% : 112 Kgs (246 Lbs)
D13 - 0.2% ; 56Kgs (123 Lbs)
D 47 - 1Gal/32Bbls : 15 Lts (4 Gls)
Densidad : 1.69 Kos/Lt (14.1Lbs/Gal)
Agua requerida : 126 Bbls.

F) Lechada Principal ^734 Pies3

Cemento Clase "A" ; 615 Sxs
DS60 - 0.8% : 210 Kgs (462 Lbs)
D 13 - 0.2% : 53 kas (116 Lbs)
D47 - 1Gal/32Bbls : 10 Lts (2.6Gls)
Densidad : 1.87 Kas/Lt (15.6Lbs/Gal}
Anua requerida : 82 Bbls.

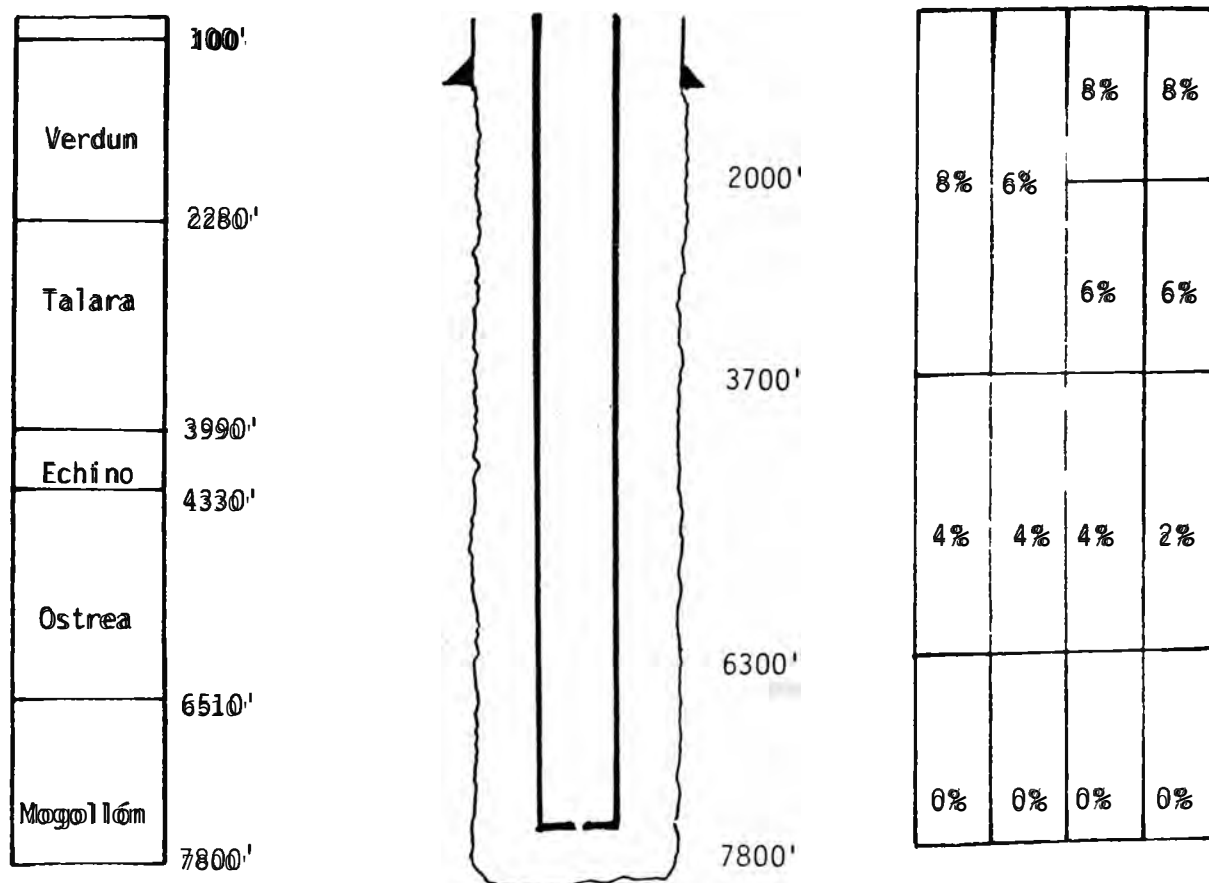
ANALISIS DE COSTOS - Alternativa # 2

Servicios	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Unidad de bombeo (Kms)	2	1.40	14.00
Unidad de transporte (Kms)	2	0.70	7.00
Carqo p. profundidad (c/u)	1	1,295.00	1,295.00
Transporte de materiales al nozo Ton/Km	91.8	0.25	114.75
Servicio combinado (Kms)	91796	0.03	2,753.88
Tanque de más de 20 m (por m)	28.5	5.00	142.50
Registrador de Presión PACP (o/o)	1	300.00	300.00
Unidad de bombeo (c/u)	1	700.00	700.00
Transnorte de mat, envasados Ton/Km	1	0.17	35.00
			5,362.13
			536.21
			4,825.92
Productos			
D 112 (Kgs)	140	20.00	2,800.00
D 65 (Kqs)	112	10.00	1,120.00
D 47 (Lts)	45	7.00	315.00
D 80 (Lts)	225	4.40	990.00
D 13 (Kgs)	109	3.40	370.60
D 60 (Kgs)	210	16.50	3,465.00
D 73 (Lts)	659	15.00	9,870.00
CW 100 (Lts)	6,359	0.23	1,462.57
Spacer 3000 (Lts)	4,769	0,77	3,672.13
Cemento "A!!: bcional (Sxs)	2,010	4.60	9,246.00
Bentonita (Kgs)	3,353	0.30	1,005.90
Baritina (Kgs)	1,990	0.50	995.00
			35,312.20

Total por este trabajo = US \$ 40,138,12

II.- Datos del Pozo

Diseño de Cementación ZAPOTAL 7124



Gradiente de Fractura	:	0.79 psi/pie
Tope de cemento	:	Superficie
BHST	:	150° F
Cañería Guía	:	9 5/8 a 430 pies
d Trépano	:	7 7/8
d Pozo	:	10 1/4"
Casing de Producción	:	0-3000 pies 5 1/2 1 80
		3000-7800 pies 5 1/2 1 80

ALTERNATIVA # 3

A) Lavador Químico

CW 100 = 6,359 Lts (40 Bbls)

B) Espaciador 3000

Spacer 3000 = 4,769 Lts (30 Bbls)

C) Lechada removedora = 760 Pies-

Cemento Clase "A"	390 Sxs	
Bentonita 8%	1331 Kgs (2933 Lbs)	
DS73 - 0.235G1s/Sxs	347 Lts (92 Gis)	
DS80 - 0.08G1s/Sx	118 Lts (31 Gis)	f *
DS47 - 1Gal/32Bbls	12 Lts (3 Gis)	
Densidad	1.5707 Kgs/Lt (13.1Lbs/Gal)	
Agua requerida	97 Bbls	

D) Lechada Superior - 694 Pies*

Cemento Clase "A"	: 395 Sxs
Bentonita 6%	: 1012 Kgs (2228 Lbs)
DS73 - 0.235G1s/Sx	: 351 Lts (93 Gis)
DS80 - 0.08G1s/Sx	: 120 Lts (32 Gis)
DS47 - 1Gal/32Bbls	: 11 Lts (2.7G1s)
Densidad	: 1.618 Kgs/Lt (13.5 Lbs/Gal)
Agua requerida	: 85 Bbls.

Altern. # 3

E) Lechada Intermedia - 1061 Pies3

Cemento Clase "A"	680 Sxs
Bentonita 4%	1161 Kgs (2557 Lbs)
DS112- 0.42%	122 Kgs (268 Lbs)
DS65 - 0.42%	122 Kgs (268 Lbs)
DS47 - IGIs/32 Bbls	16 Lts (4 Gis)
Densidad	1.69 Kgs/Lt (4 Gis)
Agua requerida	131 Bbls.

F) Lechada Principal - pies3"

Cemento Clase "A"	510 Sxs
DS60- 0.6%	131 Kgs (288 Lbs) /
DS13 - 0.2%	44Kgs (96 Lbs)
DS47 - 1Gal/32Bbls	8 Lts (2.1 Gis)
DS65 - 0.3%	65 Kgs (144 Lbs)
Densidad	1.870 Kgs/Lt (15.6 Lbs/Gal)
Agua reouerida	68 Bbls.

ANALISIS DE COSTOS - Alternativa 3

Servicios	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Unidad de bombeo (Kms)	2	1.40	14.00
Unidad de transporte (Kms)	2	0.70	7.00
Cargo p. profundidad (c/u)	1	1,295.00	1,295.00
Transporte de mat. al pozo Ton/Km	91	0.25	113.75
Servicio combinado (Kgs)	90,874	0.03	2,726.22
Tanque de más de 20 m [^]	29	5.00	145.00
Registrador de Presión	1	300.00	300.00
Unidad de bombeo (c/u)	1	700.00	700.00
Transporte de materiales envasados Ton/Km	1	0.17	35.00
			5,335.97
Dcto. 10%			533.59
			4,802.38
Productos			
D 112 (Kgs)	122	20.00	2,440.00
D 65 (Kgs)	187	10.00	1,870.00
D 47 (Lts)	47	7.00	329.00
D 80 (Lts)	238	4.40	1,047.20
D 13 (Kgs)	102	3.40	346.80
D 60 (Kgs)	131	16.50	2,161.50
D 73 (Lts)	698	15.00	10,470.00
CW 100 (Lts)	6,359	0.23	1,463.00
Spacero 3Q0Q(Lts)	4,769	0.77	3,672.00
Cemento "A" Nacional (Sxs)	1,975	4.60	9,085.00
Bentonita (Kgs)	3,504	0.30	1,051.20
Baritina (Kgs)	2,543	0.50	1,271.50
			35,207.20

Total por este trabajo = US \$ 40,009.58

5.3.- OTRAS CONCLUSIONES

- 1) Mantener un control adecuado de los valores reológicos del lodo de perforación, es decir, tales valores deben tener o estar dentro de los recomendados en el diseño final de cementación.
- 2) La reología del lodo ha de ser la misma para el lodo que entra al pozo como para el que sale del mismo, una vez establecidos estos valores, circular el hueco por lo menos una vez más de su volumen total en mejor de los casos dos veces el volumen total del pozo .
- 3) Asegurarse que el pozo haya sido reciprocado durante el proceso de acondicionamiento del lodo, puede ser a un ciclo cada 1-3 minutos, con el fin de ayudar a ablandar el revoque de lodo adherido a la formación y quizás también a la tubería de revestimiento pero en menor grado ocurre este último.
- 4) Aumentar el caudal de circulación del lodo al momento del acondicionamiento , este caudal puede ser un promedio de 8 BPM .
- 5) Al momento de la cementación reciprocarse la tubería de revestimiento a razón de un ciclo cada 30 segundos, inclusive durante gran parte del desplazamiento de las lechadas de cemento .
- 6) Si bien es cierto que el uso de las microcomputadoras (PACR y MICROVAX.II), influirán en un mayor costo relativo de la cementación; puesto que se requieren necesariamente tener datos de registros adicionales (cáliper y CBL/VDL , que frecuentemente no son realizados en las operaciones de Petroperú- O.N.O.), estos son útiles para el diseño previo a la operación de cementación (CEMCADE) como para la evaluación respectiva, para la eficiente completación del pozo. Pero éste costo relativamente adicional, nos permitirá obtener una operación de cementación exitosa, que a la larga se trasmite en tener mejores condiciones para la completación y estimulación del pozo, así como tener una mayor vida operativa del mismo.

PORQUE RAZONES EL PACR OPTIMIZA LA CEMENTACION

- 1) Nos permite tener una información constante de los parámetros que influyen directamente con la operación de cementación tales como: la densidad de la lechada, presión de bombeo, caudal de bombeo, caudal acumulativo y el tiempo que dura la cementación .
- 2) Las densidades, presión, y caudal pueden ser reajustados según los requerimientos del diseño con el fin de obtener una buena cementación del pozo en forma especial en las formaciones productivas .
- 3) Nos permite grabar la operación para un posterior análisis de los cuales podemos obtener una evaluación de todo el trabajo y sacar conclusiones y parámetros, que deberán de tenerse mayor énfasis y control adecuado, con el objeto de optimizar los trabajos posteriores a éste trabajo.

APENDICE

SIGNIFICADO DE PALABRAS EN ESPAÑOL UTILIZADOS EN EL

PROGRAMA CEMCADE

PALABRAS EN INGLES	SIGNIFICADO
Well schematic	esquema del pozo
Measured depth	medidas de profundidad
Last casing	tub. revest.de superficie
Landing collar	collar diferencial
Casing shoe	zapato guía
Total depth	profundidad total
Well data	datos del pozo
Weight	peso
Pressure collapse	presión de colapso
Pressure burst	presión de reventazón
Diameter inch	diámetro en pulgadas
Pressure pore	presión poral
pressure frac	presión de fractura
Fluids available for string	disponibilidad de fluidos por
Yield ft3/sk	rendimiento en pie3/saco
Rheological model	modelo reológico
Fluid loss at 126 oF	pérdida de filtrado a 126 oF
Thickening time	tiempo de bombeabilidad
Mix fluid	fluido de mezcla
Mix-water type	tipo de agua de mezcla
Fresh water	agua fresca
Compressive strength	resistencia a la compresión
Displacement fluid	fluido de desplazamiento

PALABRAS EN INGLES	SIGNIFICADO
Slurry fill	llenada de lechada
Volume required	volumen requerido
Volume to surface	volumen de retorno en superficie
Hidrostatic pressure	presión hidrostática
Required annular flow rates	flujo anular requerido
Pressure test line	prueba de presión a la línea
Start pumping wash	espera bombear lavador
Start pumping spacer	espera bombear espaciador
Start mixing lead slurry	espera mezclar lechada guía
End job	final de trabajo

BIBLIOGRAFIA

MANUAL DE CEMENTACION DE POZOS

DOWELL SCHLUMBERGER

CASING AND CEMENTING

PETROLEUM EXTENSION SERVICE , THE UNIVERSITY OF TEXAS

AT AUSTIN

MANUAL BASICO DE CEMENTACION FORZADA

DPTO. TECNICO DE PETROLEO, PETROPERU-ONO

ARCHIVO DE POZOS DEL PROYECTO LAGUNA -ZAPOTAL (D.S.)

CEMENTING TECHNOLOGY

DOWELL SCHLUMBERGER 1984