

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería de Petróleo



Migración de Gas en el Espacio
Anular en Trabajos de Cementación

TESIS

Para Optar El Título Profesional de

INGENIERO DE PETROLEO

Sonia Angélica León Véliz

PROMOCION 1978 - I

Moises Guillermo Gonzáles Alarcón

PROMOCION 1975 - I

LIMA - PERU

1991

MIGRACION DE GAS EN EL ESPACIO ANULAR
EN TRABAJOS DE CEMENTACION.

TESIS DE GRADO
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO DE PETROLEO

PREPARADO POR: SONIA LEON DE GONZALES
MOISES GUILLERMO GONZALES ALARCON.

INDICE

- 1.- SUMARIO.
- 2.- INTRODUCCION.
- 3.- CAUSAS DE LA MIGRACION DE GAS.
 - 3.1- PERDIDA DE PRESION.
 - 3.2- DESARROLLO DEL ESFUERZO DE GEL ESTATICO.
 - 3.3- REDUCCION DE VOLUMEN EN LA MEZCLA DE CEMENTO.
- 4.- PRACTICAS CON SIMULADORES DE LABORATORIO.
 - 4.1- DESCRIPCION DEL EQUIPO.
 - 4.2- PROCEDIMIENTO.
 - 4.3- DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.
 - 4.3.1- PRUEBA N° 1.
 - 4.3.2- PRUEBA N° 2.
 - 4.3.3- PRUEBA N° 3.
 - 4.3.4- PRUEBA N° 4.
 - 4.3.5- PRUEBA N° 5.
 - 4.3.6- PRUEBA N° 6.
 - 4.3.7- CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS.
- 5.- METODOS PARA CONTROLAR EL FLUJO DE GAS.
 - 5.1- CALCULO DEL FACTOR POTENCIAL FLUJO DE GAS(GFFF).
 - 5.2- SOLUCIONES DE ACUERDO A VALOR CALCULADO DEL FACTOR POTENCIAL DE FLUJO DE GAS.
 - 5.2.1- CALCULO DE LA MAXIMA REDUCCION DE PRESION (MRR).
 - 5.2.2- CALCULO DE LA PRESION DE SOBRE CARGA.
 - 5.2.3- CALCULO DEL FACTOR POTENCIAL DE FLUJO DE GAS.

5.2.4- CONTROL FILTRADO EN LA CEMENTACION.

5.2.5- CEMENTOS COMPRESIBLES.

5.2.6- CEMENTOS ESPUMADOS.

6.- CONCLUSIONES.

7.- BIBLIOGRAFIA.

8.- ANEXOS.

8.1.- TABLAS.

8.1.1- TABLA I:PARAMETROS PARA DISEÑAR UNA CEMENTACION CON CEMENTOS COMPRESIBLES.

8.1.2- TABLA II:ESTADISTICAS DE CAMPO.

8.2.- GRAFICOS.

8.2.1- FIGURA 1:PRESION HIDROSTATICA vs.PRESION DE FORMACION vs. TIEMPO.

8.2.2- FIGURA 2:DIAGRAMA DE UN SIMULADOR DE LABORATORIO.

8.2.3- FIGURA 3:PRUEBA DE LABORATORIO N°1.

8.2.4- FIGURA 4:PRUEBA DE LABORATORIO N°2.

8.2.5- FIGURA 5:PRUEBA DE LABORATORIO N°3.

8.2.6- FIGURA 6:PRUEBA DE LABORATORIO N°4.

8.2.7- FIGURA 7:PRUEBA DE LABORATORIO N°5.

8.2.8- FIGURA 8:PRUEBA DE LABORATORIO N°6.

8.2.9- FIGURA 9:COMPARACION ESFUERZOS DE GEL DESARROLLADOS POR DIFERENTES MEZCLAS.

8.2.10-CONDICIONES PARA QUE OCURRA UN FLUJO DE GAS.

1. SUMARIO.-

La técnica de retardar el esfuerzo de gel de una mezcla de cemento, es un método desarrollado recientemente para controlar la migración de gas en el espacio anular de un pozo de petróleo y/o gas.

Este flujo de gas puede ocurrir, cuando se suman dos fenómenos en cementos convencionales:

-Establecimiento de un suficiente esfuerzo de gel que restringe a la columna de cemento la capacidad de transmitir su presión hidrostática.

-Pérdida de volumen por efecto de pérdida de fluido.

Ambos hechos originan que la presión hidrostática de la columna de cemento se reduzca drásticamente, cayendo la presión confinada a un punto tal que el flujo de gas puede ocurrir.

Para que ello no ocurra, se ha demostrado que desarrollar en el menor tiempo (tiempo de transición) un valor mínimo de esfuerzo de gel de 500 lbs/100 pies², evita la entrada de gas.

El efecto de retardar el desarrollo de esfuerzo de gel, motiva una mayor pérdida de fluido, siendo necesario utilizar procedimientos para contrarrestar este efecto (aditivos, cementos especiales).

Una mezcla de cemento se comporta como un fluido con capacidad de transmitir plenamente la presión hidrostática de toda la columna.

Después que el cemento fragua, éste se comporta como un sólido sin capacidad de transmitir la presión hidrostática.

Cuando el cemento pasa del estado líquido a sólido, tiene lugar una fase intermedia plástica o de transición en la que existe una gran restricción a la capacidad de transmitir la presión hidrostática.

Cuando una mezcla de cemento ubicada en el espacio anular entra en la fase de transición, la presión hidrostática original es atrapada dentro de la matriz del cemento.

Tanto el agua como la matriz del cemento no son compresibles; de manera que todo cambio de su volumen motiva una rápida caída de la presión, la que no puede ser restablecida por la columna hidrostática superior dado que se está en la fase de transición.

2.-INTRODUCCION.-Por muchos años la industria del petróleo ha tratado el problema de **invasión** de gas en huecos de pozos después de la cementación.

En 1960 Evans y Carter indicaron la importancia de la condición superficial del casing (asperezas y secado) para obtener una buena unión en las interfases cemento/formación y casing/cemento. En 1964, Bearden introdujo una herramienta especial que se coloca cuando se baja el casing, con el objeto de controlar la comunicación interzonal. La herramienta consiste de un anillo sellado de caucho moldeable entre dos láminas de acero, una de ellas movable. En 1966 Scott y Brace reportaron que la cementación primaria fué mejorada corriendo casing cubierto con resina en los intervalos completados.

La primera publicación realizada para explicar el problema de la comunicación de gas por otros medios que no sea la rotura de las interfases cemento/formación y casing/cemento fué presentada por Carter y Slagle en 1970. El concepto de la "falta de capacidad de la columna de cemento para transmitir la totalidad de la presión hidrostática" fué formalmente introducido en la industria en este trabajo.

En 1974, Stone y Christian usaron modelos a escala de laboratorio para mostrar que cuando la presión del gas es más alta del cemento cuando éste ha tomado un valor inicial, un canal se forma y el gas continuará migrando aún cuando su presión disminuya.

En sus recomendaciones, los autores indican la necesidad de un buen lodo, prácticas de cementación adecuadas, así como el uso de mezclas de cemento con buen control de pérdida de fluidos y corto tiempo de fraguado.

La industria como un todo ha ido por el camino de la necesidad de un apropiado desplazamiento de la mezcla de cemento para lograr buenos trabajos de cementación primaria.

En 1975 Christian escribió un trabajo enfatizando la necesidad de usar mezclas de cemento con buen control de pérdida de fluidos para prevenir la migración de gas. Su investigación señaló que la prematura deshidratación de mezclas de cemento, resultante de un mal control de pérdida de fluidos, puede ser la causa principal de la comunicación de gas. Se propuso que aditivos para evitar la pérdida de fluidos mantienen el agua requerida para la hidratación del cemento y retardan la salida del agua durante el integro proceso de hidratación, así como minimizan la habilidad de los fluidos para moverse a través de la porosidad del cemento.

En 1976 García y Clark corrieron una serie de experimentos y reportaron que entrada de gas en el anillo ocurre si el cemento ha perdido fluidos en huecos tales que no existe comunicación de cabeza hidrostática entre el fondo del hueco y la columna de lodo encima del cemento. Lo que indica que mientras la mezcla de cemento permanece fluida, el flujo de gas entre zonas fué controlado. Sin embargo, después que el cemento se fragua, el flujo de gas empezó.

En 1977 Cook y Cunningham presentaron un método mejorado para evaluar los requerimientos de pérdida de fluidos necesarios para obtener éxito en trabajos de cementación de casings y laines. Recomendando el uso del mayor control de pérdida de fluidos en mezclas de cemento cuando en la cementación se atraviezan zonas de presión variable, minimizando la entrada de gas, desde que el incremento del control de pérdida de fluidos resulta en menor invasión de gas y menor permeabilidad del cemento.

Otro medio de mejorar el control de migración de gas, reportado en la literatura, es el uso de cementos expansivos que mejoran la unión en las interfases cemento/formación y casing/cemento. Uno de dichos trabajos es el de Griffin en 1979, el cual discute un sistema de cemento expansivo que proporciona superior unión y aislamiento de la zona productiva.

Un trabajo conteniendo una serie de prácticas para controlar la migración de gas fue hecho por Levine en 1979. Una técnica gráfica que calcula el potencial de flujo de gas en el anular en cementación fue descrito. También en 1979, Tinsley introdujo por primera vez, un nuevo sistema de cemento intentando básicamente controlar la migración de gas en la interfase cemento/formación. Su trabajo también reveló que disminuciones de volumen en la matriz de cemento, ya sea como resultado de pérdida de filtrado ó hidratación química, causan

un rápido decrecimiento de la presión poral dentro de la matriz de cemento. La razón de esta disminución de la presión es causada por la baja compresibilidad de la fase fluida (agua) dentro de la matriz de cemento. Sugiriendo que la presión puede ser mantenida introduciendo una fase altamente compresible (fase de gas disperso) en la matriz de cemento. A su vez, Webster y Eikerts presentaron un trabajo explicando la relación entre la separación del agua en las mezclas de cemento y la pérdida de cabeza hidrostática en una columna de cemento. Usando un modelo de laboratorio observaron canales de agua en huecos desviados simulados cuando mezclas de cemento con excesiva agua libre fueron usadas. Señalando que la reducción de la densidad efectiva de una columna de cemento depende de por lo menos dos factores: contenido de agua libre y ángulo de desviación del hueco.

En un trabajo reciente Sabins explicó el concepto de tiempo de transición en la cementación. Definiéndolo como el período en el cual las mezclas de cemento cambian de un fluido hidráulico verdadero a una masa altamente viscosa que muestra algunas características sólidas. Indicando que una de las causas principales de la migración de gas es la incompresibilidad de las mezclas de cemento durante el proceso de fraguado.

3.-CAUSAS DE LA MIGRACION DE GAS.-

Una de las causas más aceptadas del porqué ocurre la migración de gas a través de una columna de cemento, es la incapacidad de ésta de mantener una presión de balance mientras que la mezcla de cemento está en una fase de transición entre líquido y sólido (gel).

Inicialmente, la presión hidrostática ejercida por la columna de cemento es suficiente para obtener una presión de equilibrio en la zona de producción de gas permitiendo controlar la filtración o canalización del gas en la columna de cemento.

Una vez que la mezcla de cemento está ubicada en el espacio anular y en condiciones estáticas, comienza a desarrollar un esfuerzo de gel estático "Static Gel Strength"; propiedad que ejerce una resistencia interna al movimiento e impide la total transmisión de la presión hidrostática porque la columna de cemento se torna capaz de soportar su propio peso.

Esta conversión del cemento al estado gel, no está relacionada necesariamente con el fenómeno de hidratación del cemento.

El desarrollo del esfuerzo de gel estático combinado con los factores que causan la pérdida de volumen son razón suficiente para perder la presión de equilibrio.

La probabilidad de que esto ocurra está en función del tipo de mezcla de cemento y parámetros del pozo, pero básicamente se gobierna por:

- 1) La velocidad en desarrollar un esfuerzo de gel estático.
- 2) El volumen de pérdida de fluido de la mezcla de cemento.
- 3) La compresibilidad de la mezcla de cemento.

Reducciones de volúmenes debido a la pérdida de fluido motivan la reducción de la presión hidrostática.

En un sistema hidráulico, pequeñas reducciones de volumen pueden causar grandes pérdidas de presión; que adicionado el desarrollo de esfuerzo de gel genera un mecanismo capaz de restringir la total transmisión de la presión hidrostática; porque las formulaciones de los cementos convencionales, son básicamente incompresibles no existiendo un mecanismo externo para compensarlo.

3.1. PERDIDA DE PRESION.-

La pérdida de presión es el resultado de efectos combinados de pérdidas de volumen y desarrollos de esfuerzos de gel. Ninguna de estas condiciones por separado son motivo de una migración de gas.

3.2.DESARROLLO DEL ESFUERZO DE GEL ESTATICO.-

En un sistema fluido, la presión hidrostática está presente como una función de la densidad y la altura del mismo.

Inicialmente el cemento está en condiciones fluidas; sin embargo una vez que comienza a desarrollar un esfuerzo de gel disminuye esta capacidad.

El potencial de pérdida de transmisión de presión está relacionado directamente al nivel de desarrollo del esfuerzo de gel estático que es una propiedad progresiva.

El potencial de pérdida de transmisión de presión hidrostática está gobernada por la altura, el diámetro efectivo (diámetro del pozo menos diámetro del revestimiento) y el esfuerzo de gel estático de la columna de cemento.

La siguiente ecuación expresa este proceso:

$$MPR = \frac{SGS}{300} \frac{L}{D}$$

donde:

MPR = Máxima Reducción de Presión Teórica; (cambios en la presión hidrostática que pueden ocurrir como un resultado del desarrollo del esfuerzo de gel estático).

300 = Factor de conversión para tener MPR en psi.

L = Longitud de la columna de cemento, pies.

D = Diámetro efectivo de la columna de cemento.
(diámetro del pozo menos diámetro del revestimiento).
($D_H - D_P$), pulgadas.

El valor de MPR no es la cantidad de pérdida de presión que definitivamente ocurrirá; es en realidad la máxima pérdida de presión absoluta que puede ocurrir para un nivel de desarrollo de esfuerzo de gel dado.

De todo lo expuesto pareciera ser que el desarrollo de esfuerzo de gel estático es un factor totalmente negativo. Afortunadamente este no es el caso.

Hay un nivel de desarrollo de esfuerzo de gel estático que no permite la filtración de gas a través de la columna de cemento; el nivel exacto no es conocido, pero se sabe por resultados de laboratorio y de campo, que un valor de 500 lbs/100 pies² es suficiente para prevenir la filtración o canalización del gas a través del cemento no fraguado.

Si la presión hidrostática se mantiene por encima de la presión de la zona de producción de gas hasta que la mezcla de cemento alcance 500 lbs/100 pies², entonces la migración de gas no ocurrirá.

Este efecto se ilustra en la Fig. 1. En el punto A, la presión hidrostática tiene aún suficiente control sobre la presión de formación, pero comienza a declinar hasta perderse en el punto B. Decrementos posteriores de presión permitirán la migración de gas.

En el punto C, la filtración del gas es inevitable. Sin embargo, si llegamos a controlar el desarrollo de esfuerzo de gel y la pérdida de volumen por pérdida de fluido se evitará que la mezcla de cemento pase por el punto B.

Si la presión hidrostática cae por debajo de la presión de formación antes de que la mezcla de cemento desarrolle un esfuerzo de gel estático de 500 lbs/100 pies², la filtración del gas ocurrirá motivando canalización de la columna de cemento, que será imposible de eliminar.

3.3. REDUCCION DE VOLUMEN EN LA MEZCLA DE CEMENTO.-

En un sistema fluido donde no ocurre pérdida de volumen, la presión hidrostática permanece constante.

Cualquier pérdida de volumen del sistema fluido causa una disminución de la presión hidrostática.

Aditivos para pérdida de fluido limitan la pérdida de filtrado de las mezclas de cemento reduciendo la pérdida de presión hidrostática causada por la reducción de volumen.

$$\Delta P = \frac{\Delta V}{CF}$$

donde:

ΔP = Máximo potencial de pérdida de presión por reducción de volumen.

ΔV = Reducción de volumen debido a la pérdida de filtrado de la columna de cemento.

CF = Factor de compresibilidad del sistema fluido, (CF para la mezcla de cemento es la misma que para el agua).

Cualquier cambio en ΔV afectará la presión hidrostática ejercida por la columna de cemento; desde que el valor de CF es muy pequeño para mezcla de cemento convencionales, el valor de ΔP se incrementará en proporción directa al valor de la pérdida de fluido.

La reducción de volumen ocurre por dos motivos:

- 1) Pérdida de filtrado de la matriz del cemento a la formación.
- 2) Cuando el cemento hidrata, hay una pérdida de volumen por hidratación.

La reducción de volumen por hidratación química fue incluida en el valor de reducción de volumen y las relaciones de pérdida de fluido utilizadas en el cálculo total de reducción de volumen fueron obtenidos por métodos simulando condiciones de fondo de pozo.

La ecuación es la siguiente:

$$\Delta P = \frac{(FLVR+HVR)}{CF}$$

donde:

FLVR = Reducción de volumen debido a la pérdida de fluido durante el tiempo de transición.

HVR = Reducción de volumen debido a la hidratación química del cemento durante el tiempo de transición.

La inclusión de estos parámetros nos permite efectuar valiosos análisis tales como:

- Cambios por variaciones en las razones de pérdida de fluido.
- Interacción entre las razones de pérdida de fluido y el tiempo de transición.
- Influencia de la compresibilidad de la mezcla de cemento en la velocidad de pérdida de presión.

La ecuación para calcular la pérdida de presión debido al esfuerzo de gel es la dada en el punto 3.2.

$$MPR = \frac{SGS \cdot L}{300 \cdot D}$$

En la determinación de la Máxima Reducción de Presión, se debe considerar el mínimo valor de esfuerzo de gel estático que permite evitar la filtración del gas, 500 lbs/100 pies².

Con lo que la ecuación anterior queda:

$$\text{MPR} = 1.67 \times \frac{L}{D}$$

Esta ecuación es válida solamente cuando el desarrollo de esfuerzo de gel estático sobre la zona de gas es igual o menor a la de la zona de gas. Altas pérdidas de fluido pueden causar un incremento en el desarrollo de esfuerzo de gel estático.

4.-PRACTICAS CON SIMULADORES DE LABORATORIO.

No hay duda que la primera etapa para controlar la migración de gas es la apropiada remoción del lodo de perforación del hueco del pozo durante la cementación. Todos los esfuerzos deben ser hechos para lograr este objetivo. Si un pobre desplazamiento ocurre, la oportunidad de controlar la invasión de gas se reduce, desde que puede migrar a través de los canales del cemento contaminado con lodo. También se debe tener uniones apropiadas en las interfases cemento/formación y casing/cemento. Si este buen sello no es logrado durante la operación de cementación primaria, gas potencial puede migrar por esas trayectorias de menor resistencia hacia zonas superior ó inferior de menor presión.

Si un buen desplazamiento del lodo y sellos en las interfases cemento/formación y casing/cemento es logrado, el único camino para que el gas entre es a través de la matriz de cemento en sí.

El objetivo de las prácticas de laboratorio es estudiar la invasión del gas tal como puede ocurrir en o cerca de la interfase cemento/formación y encontrar la forma de controlarlo.

Para ello se contruyó un equipo que permita estudiar como el gas invade una pequeña muestra de mezcla de cemento en punto de contacto entre el cemento/formación.

Anotar que cuando la mezcla de cemento se aproxima al punto de total deshidratación, la presión poral rápidamente alcanza la presión del gas de formación, señalando una inmediata recarga cuando los espacios porales se encuentran vacíos por filtrado de la mezcla de cemento.

Nuevamente, esta prueba sugiere que si el filtrado de la mezcla de cemento puede ser inmovilizado dentro de los espacios porosos de la estructura de cemento, particularmente al tiempo en que el cemento empieza a soportar carga, se puede prevenir la invasión del gas de formación dentro de la matriz aún si la presión poral del cemento cae debajo de la presión del gas de formación en el fraguado del cemento.

Como previamente se dijo en la introducción, la presión poral caerá, aún si existe pequeño filtrado, debido al proceso de hidratación.

4.3.4. Prueba N° 4. - La Fig 6 señala la curva de presión poral obtenida cuando un tercer aditivo de pérdida de fluido, C, fué usado, esta vez con la adición de un retardador. Como se puede ver en la Fig. 6, la presión poral empieza a declinar casi inmediatamente después que la temperatura de la prueba (220°F) fué alcanzada. Debido probablemente por menor control de pérdida de fluidos existente en el cemento a esta temperatura. A 3 horas de la prueba, rate de flujo de gas de 2 cm^3/hr a 500 psi fué registrado. A 4 horas presión poral se incrementó anotando que un rápido flujo de gas está ocurriendo. Este rate fué de 134 cm^3/hr a 4.5 horas.

4.1.Descripción del Equipo.-La Fig 2 muestra un diagrama del aparato usado para estudiar el flujo de gas a través de pequeña muestra de mezcla de cemento.

Consiste de una celda de alta presión de 10" de largo por 3" de diámetro.Un pistón hidráulico con una mala de 325 mesh es insertado dentro del tope de la celda,simulando una formación altamente permeable.Se simula una presión hidrostática presurizando el pistón con aceite mineral que a su vez se presuriza con gas nitrógeno.

El eje del pistón que **está** vacío,es **conectado** a un recipiente de contrapresión donde el filtrado del tope de la celda puede ser recolectado.Otra malla de 325 mesh es ubicada en el fondo de la celda.Una fuente de gas nitrógeno es conectada a un medidor muy sensible para medir la entrada de gas,simulando de esta manera una zona de alta presión de gas.

La presión poral de la mezcla de cemento es registrada continuamente usando un traductor de presión localizado en el medio de la celda.

La celda de la prueba puede ser calentada hasta la temperatura de la prueba por un dispositivo ubicado alrededor de la celda.

La temperatura es monitoreada por una termocupla insertada en la pared de la celda.

4.2.PROCEDIMIENTO.-

El procedimiento general para correr pruebas usando este aparato de flujo de gas,es :

1)la mezcla de cemento es preparada de acuerdo a las especificaciones del API y agitada por 20' en un consistómetro atmosférico a la temperatura de la prueba.

2)Simultáneamente,la celda es calentada a la temperatura de la prueba.

3)La mezcla de cemento es introducida a la celda por la parte superior,aplicando simultáneamente presión hidráulica con el pistón.

4)Se aplica presión por el fondo de la celda simulando presión de gas de formación.

5)Las válvulas sobre el eje del pistón y en el fondo de la celda son abiertas.Los filtrados de ambos extremos de la celda son medidos y registrados periódicamente.

Asimismo periódicamente el movimiento hacia abajo del pistón es medido cuidadosamente,para determinar el momento en que el cemento es capaz de soportar su propio peso(no más movimiento del pistón)a una presión hidráulica constante dada.

6) El **rate del** flujo de gas es medido por herramientas sensibles en el fondo de la celda y registrado periódicamente a través de la prueba.

7) Para correr pruebas a temperaturas encima de 200°F, la mezcla de cemento es precalentada en una 1ra. etapa a 190°F. La celda es precalentada a 200°F, la mezcla de cemento es ubicada en la celda, y luego la temperatura es incrementada a la temperatura de la prueba con las válvulas de la celda cerradas. Para esas **pruebas** de alta temperatura una contrapresión de 100 psi es aplicada al recipiente de contrapresión. Después que la temperatura es alcanzada, las válvulas son abiertas y la prueba es realizada normalmente.

El aparato fue diseñado para estudiar el fenómeno de migración de gas en una pequeña muestra de cemento, **bajo** condiciones similares a la del pozo a cementar.

Cuando mezclas de cemento se ubican en el anillo, se exponen a las presiones hidrostáticas causadas por el peso de los fluidos que están sobre ellas. También se exponen a la presión diferencial a **través** de la interfase cemento/formación (a menudo con una costra de filtrado ubicado entre las fases).

El pistón hidráulico en el equipo de prueba, simula el peso de los fluidos sobre las mezclas de cemento.

Las válvulas abiertas en los dos extremos de la celda simulan el efecto de la presión diferencial a través de la interfase cemento/formación (la prueba simula mezclas de cemento expuestas a una formación altamente permeable).

En casos reales de campo, las mezclas de cemento pueden deshidratarse a través de los alrededores de la zona de gas. Esto también es simulado en el aparato. Midiendo el movimiento vertical del pistón, es posible observar el punto en que las mezclas de cemento se vuelven lo suficientemente sólidas para soportar la carga de los fluidos encima suyo.

4.3. DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.-

4.3.1. Prueba N°1.- Esta prueba fué realizada a 165°F usando una mezclas de cemento con 1.5% de un aditivo de control de pérdida de fluido A.

Una presión hidráulica simulada constante de 1000 psi fué aplicada al pistón. La presión de gas de formación simulada fué 500 psi. La fig 3 muestra un ploteo de la presión poral de la mezcla de cemento registrada por el traductor de presión vs. el tiempo. El gráfico también muestra el movimiento vertical hacia abajo del pistón hidráulico vs. el tiempo.

Hasta 3 horas, la presión poral permanece constante e igual a la presión hidrostática constante aplicada al pistón.

Después la presión poral comienza a declinar. La presión poral eventualmente cae debajo de la presión constante de gas simulada y permanece debajo alrededor de 2 horas. La presión poral del cemento se incrementa y se vuelve igual a la presión del gas de formación 6.25 hrs después del comienzo de la prueba.

Durante el tiempo que la presión poral del cemento permanece encima de la presión simulada de gas de formación, filtrado de cemento fué recolectado en el fondo y tope de la celda. Sin embargo, después que la presión poral cae debajo de la presión de gas de formación, no fué posible recolectar más filtrado por la válvula inferior (entrada de gas), pero el cemento continuó deshidratándose en el otro lado de la celda. En ese momento un pequeño volumen de gas entró en la celda. El cemento quedó completamente deshidratado después de 6.5 horas, como lo demuestra la ausencia de filtrado de las celdas.

Como se indicó, la 1ra entrada de gas fué detectada a 4.5 hrs una vez de que la presión poral cayó debajo de la presión simulada del gas de formación. Una significativa entrada de gas ($3.6 \text{ cm}^3/\text{hr}$) a 500 psi fué medida a las 6 hrs; $8 \text{ cm}^3/\text{hr}$ a 500 psi a las 6.5 hrs. Al mismo tiempo por la válvula opuesta comenzó a fluir gas a un rate aprox. de $212 \text{ cm}^3/\text{hr}$ (a presión atmosférica).

La prueba N°1 **mostró** que mientras la presión **poral** de la mezcla de cemento permanezca por encima de la presión de gas de formación, el gas no ingresará al cemento. Sin embargo, una vez que la presión poral cae por debajo de la presión de gas de formación, el gas ingresará pero no en cantidades suficientes para "recargar" la estructura. En este punto de la prueba la presión poral continúa cayendo porque la mezcla de cemento sigue deshidratándose. La estructura poral pierde suficiente filtrado que la formación de gas solo "recarga" hasta una presión igual a la presión del gas de formación. Lo que sugiere que es necesario que los espacios porales estén parcialmente o totalmente vacíos de filtrado para que el gas de formación sea capaz de penetrar la estructura del cemento. Mientras exista mayor posibilidad que los fluidos dentro de la estructura poral puedan ser movilizados, podrán ser mejor desplazados por gas de formación.

Desde que los aditivos convencionales de pérdida de fluidos, controlan la pérdida de fluidos formando una costra de filtrado en la interfase del cemento con la zona permeable, por sí mismos se muestran incapaces de inmovilizar los fluidos dentro de los espacios porales del cemento confinado.

Un último punto, es que la presión poral es la que importa cuando se trata invasión de gas. La presión poral del cemento es igual a la presión hidrostática (o carga) encima de la columna de cemento hasta un tiempo aproximado en que el cemento comienza a soportar carga. Después de ello la presión poral se aparta del valor de la presión hidrostática.

4.3.2. Prueba N°2. -Esta prueba fué realizada a temperatura ambiente usando una mezcla de cemento Clase H con 46% de agua (ver Fig 4). Una presión hidráulica simulada constante de 1000 psi fué aplicada al pistón. La presión de gas de formación simulada fué 500 psi. Después de abrir las válvulas de la celda, la mezcla de cemento se deshidrató completamente y la presión poral, cayó a 500 psi, presión del gas de formación. A 500 psi el rate de flujo de gas fué demasiado alto para ser medido. Este caso extremo simula la situación que puede ocurrir cuando una mezcla de cemento sin control de pérdida de fluidos es expuesta a una zona altamente permeable. Es muy importante anotar que la presión poral en la mezcla de cemento se hace igual a la presión de gas de formación casi instantáneamente, indicando invasión y "carga" del cemento deshidratado por el gas de formación.

Es importante remarcar que en este caso, la carga es soportada por un "paquete" de cemento deshidratado y no por una columna de cemento fraguado.

4.3.3. Prueba N°3. -La Fig 5 nos muestra el comportamiento de la prueba con una mezcla de cemento tipo H y un aditivo para pérdida de fluido, B. Como en la prueba N°1 el aditivo de control de pérdida de fluido disminuye la invasión de gas en la estructura del cemento, pero eventualmente el gas es capaz de cargar la estructura y la presión poral del cemento confinado se vuelve igual a la presión del gas de formación. Aquí el rate de flujo de gas fué de 45.5 cm³/hr a 500 psi.

4.3.5. Prueba N° 5.—Esta prueba fué corrida a 165°F usando una mezcla de cemento con control de pérdida de fluidos Aditivo B y un pequeño porcentaje de polvo generador de gas. Fig 7. La presión se incrementa en la celda durante el período de calentamiento debido al cambio de temperatura y la generación de un gas dentro de la mezcla de cemento. Cuando comparamos esta prueba con la N°3, observamos una alta pérdida de fluidos. Debido a alguna reacción entre la generación de gas y el polímero que controla la pérdida de fluidos, o por la presencia de una tercera fase de gas. Al cabo de 1 hr la presión poral empieza a declinar. A las 6 hrs un rate de flujo de gas de 96 cm³/hr a 500 psi fué registrado. A 24 hrs el rate de flujo de gas fué de 1704 cm³/hr a 500 psi.

La Fig 7 muestra que aunque el gas se ha generado dentro de la mezcla de cemento, este gas, expuesto a la presión diferencial dentro de la celda, fluye dentro del sistema en vez de permanecer en la matriz y represurizar el cemento. El hecho que la presión poral nunca caiga debajo de la presión del gas de formación durante la prueba, indica invasión de gas y carga de la matriz de cemento tan pronto como la presión poral se torna igual a la presión del gas de formación.

Si las burbujas de gas generadas dentro de la mezcla de cemento pueden ser libradas de coalescer (quizas por alguna forma de burbujas de gas microesféricas), una alta presión poral puede ser mantenida en la matriz de cemento.

Sin embargo, en todas las pruebas corridas con polvo generador de gas, el gas generado salió del cemento después que las válvulas fueron abiertas y una presión diferencial fué ejercida a través de la mezcla de cemento.

4.3.6. Prueba N° 6. - Esta prueba fué corrida a 165°F usando una mezcla de cemento con un aditivo que combina los efectos de un buen control de pérdida de fluidos y el control del agua libre (a condiciones de la temperatura estática de fondo) con reducción de la movilidad del filtrado de cemento dentro del cuerpo de la estructura de cemento, particularmente después que el cemento comienza a soportar carga.

La Fig 8 dá los resultados de la prueba. Como ella muestra, la presión poral en el cemento todavía cae, debido a un cierto monto de filtrado que fué perdido por el sistema desde el comienzo de la prueba hasta el tiempo de total deshidratación.

Sin embargo, el rate de flujo de gas en este experimento decreció de un valor inicial de 0.3 cm³/hr a 500 psi antes de la total deshidratación a sólo 0.11 cm³/hr a 500 psi después de la total deshidratación y finalmente un valor de 0.004 cm³/hr a a 500 psi después de 24 horas. Estos números, combinados con el hecho de que la presión poral nunca mostró signos de incrementarse hacia la presión del gas de formación, indican que el gas de formación nunca logró "recargar" estructura en alguna extensión.

Eventualmente los espacios porosos fueron restringidos por el proceso de hidratación. El pequeño volumen de gas de formación a baja presión que pudo penetrar en el cemento fue incapaz de impedir el cierre de los espacios porosos y el cemento se constituyó prácticamente impermeable al gas. Anotar que desde que muy poco gas penetró en la estructura del cemento, la presión poral de la matriz de cemento permanece muy baja a través del resto de la prueba.

Basado en los resultados de las pruebas previas, la siguiente teoría del mecanismo de invasión de gas en cementaciones es propuesta.

Después que el cemento es desplazado y queda detras del casing, algunas procesos empiezan a tomar lugar en la mezcla de cemento. Las propiedades resultantes de la mezcla de cemento son una función de la composición de la mezcla de cemento y las condiciones del pozo a través del intervalo de cemento. Los procesos incluyen deshidratación de la fase líquida, gelación de la mezcla de cemento, asentamiento de las partículas sólidas, y empaquetamiento de las partículas sólidas. El proceso real de fraguado de la mezcla de cemento empieza cuando el agua empieza a ponerse en contacto con el cemento, y continúa a un rate dependiente de la composición de la mezcla de cemento y condiciones del pozo.

A una profundidad dada, uno o más de estos procesos pueden volverse dominantes sobre los otros, controlando los cambios en la conducta de la mezcla de cemento. Inicialmente, la totalidad de la mezcla de cemento se conduce como un fluido "puro" y transmite la totalidad de la columna hidrostática causada por su propia cabeza más la cabeza de los fluidos **encima** de él. Cuando los procesos de deshidratación, gelación, fraguado, empaquetamiento y fraguado progresivo de la mezcla de cemento toman lugar en el tiempo a lo largo de diferentes profundidades, causan que se aparte de la conducta de un fluido puro.

La mezcla de cemento ubicada a través de la zona de presión del gas de formación eventualmente se vuelve lo suficientemente deshidratada, gelificada y empacada que a unas condiciones dadas del pozo, que su estructura formada por partículas de cemento más el líquido que queda en la matriz es capaz de soportar mucha de la carga que está siendo transmitida a esta porción del cemento.

Una vez que la estructura a través de la zona de gas puede soportar mucho de la **carga** el cemento torna "load-bearing". Cuando esto sucede, la presión poral dentro de la estructura de cemento no es totalmente controlada por la carga hidrostática transmitida al cemento y entonces a partir de este punto, adicionales pérdidas de volúmenes líquidos de la matriz del cemento (por deshidratación o por real proceso de fraguado) son reflejadas en sustanciales cambios de la presión poral del cemento.

Cuando la presión poral en la estructura del cemento continúa cayendo, eventualmente se hace igual a la presión del gas de formación. Cualquier adicional decrecimiento en la presión poral del cemento permite potencial **invasión de** gas, ya que la permeabilidad del cemento al gas en la vida inicial del cemento es muy alta. Si la invasión ocurre el gas puede eventualmente difundirse en la totalidad de la matriz de cemento, cargando con suficiente gas que inhibe el proceso de hidratación para cerrar los espacios porosos.

Un medio para controlar la migración de gas en la interfase cemento/formación es reducir la movilidad del filtrado de cemento dentro de los espacios porosos del cemento confinado. Un aditivo convencional de pérdida de fluidos generalmente no inmoviliza el filtrado dentro de los poros, sino crea una costra de filtrado.

Un camino obvio para reducir la movilidad del filtrado de cemento dentro de los espacios porosos es incrementar la viscosidad del filtrado dentro de la estructura a la temperatura de la prueba usando un material polímero. También los espacios porales pueden ser enlazados con partículas hinchables de tamaño apropiado para reducir aún más la movilidad del filtrado de cemento. Este mecanismo de puente de los espacios porosos mantiene el filtrado en su lugar y restringe la entrada de gas dentro de la matriz. Estas metas fueron logradas seleccionando materiales polímeros y agentes de enlace apropiados.

Si el fluido permanece inmobilizado(ó si la movilidad de los fluidos se reduce grandemente) dentro de los espacios porosos,se tendrán los poros llenos de fluidos, el gas de formación no será capaz de invadir la matriz y para todo propósito práctico un cemento "impermeable" puede ser creado.

Esta mezcla de cemento es la que fué discutida bajo la prueba N° 6.

Casos de Campo.—Más de 300 trabajos han sido realizados usando el sistema de cemento impermeable.Los 4 principales tipos de trabajos de cementación(casing,laina,tapón,y squeeze) fueron efectuados usando el cemento impermeable con un éxito de más del 90%.Algunos casos representativos son presentados.

Caso 1:Distrito Galveston,TX.—Cortes de gas han sido un serio problema en este campo por un tiempo largo.En este pozo particular,algunas arenas de alta presión existen debajo de la arena productiva de aceite.Muchos trabajos squeeze han sido realizados usando diversos aditivos.Un squeeze a baja presión fué hecho a una profundidad de 8980' usando 35 sacos del cemento impermeable.Ninguna entrada de gas fué experimentada después del trabajo.Desde entonces,cuatro squeezes adicionales con éxito han sido realizados usando el cemento impermeable.

Caso 2: Distrito Hardin, TX.—La migración de gas era un problema común en esta área. La profundidad **total** del pozo fue 7,965'. Había una zona débil (baja presión) 200' encima de la zona de gas. Las siguientes mezclas de cemento fueron usadas para cementar este pozo: (1) Mezcla de cemento inicial compuesta de 420 sacos de cemento ligero comercial más 10% de sal más 0.2% de retardor más 6.75 gal/saco de agua de mezcla y (2) mezcla de cemento final **compuesta de 250** sacos de cemento impermeable más 5.19 gal/saco de agua de mezcla. El trabajo fue un éxito.

Caso 3: Distrito Hardin, TX.—Un pozo estaba perforando a una profundidad de 12,500' con un lodo de densidad 18.3 lbm/gal. Para controlar un problema de pérdida de circulación encontrado aprox. 12,200', el lodo fue cortado a 17.3 lbm/galón pero el gas empezó entrar al hueco del pozo. Se realizó el trabajo usando 1,064 sacos de cemento impermeable a una densidad de 17.6 lbm/gal. No más entrada de gas fue detectado después del trabajo y hasta el final de la perforación. El pozo está produciendo sin problema de migración de gas.

Caso 4: Distrito Fayette, TX.—Un reventón ocurrió durante el primer intento de cementar este pozo. Después de matar el pozo, el operador decidió usar el cemento impermeable. La profundidad final del pozo fue 7,225' y las siguientes mezclas de cemento fueron usadas: (1) Mezcla de cemento inicial compuesta de 297 sacos de cemento clase H más 8% de gel más

0.25% de retardor más 0.25 lbm/saco de escamas de celofan más 9.97 gal/saco de agua de mezcla y (2) mezcla de cemento final compuesta de 330 sacos de cemento impermeable más 5.19 gal/saco de agua de mezcla. El trabajo fué un éxito.

4.3.7. CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS.-

1) Si la presión poral permanece encima de la presión del gas de formación, el gas no invade la matriz de cemento.

2) Aditivos de pérdida de fluidos convencionales que funcionan formando una costra de filtrado en la interfase del cemento con la zona permeable no son adecuados para prevenir la invasión del gas de formación dentro de la matriz de cemento.

3) La generación de una fase de gas en la mezcla de cemento no previene la invasión del gas de formación dentro de la matriz de cemento si las burbujas de gas generadas coalescen y forman canales de gas.

4) La invasión del gas de formación dentro de la matriz de cemento puede ser prevenida inmovilizando el fluido dentro de los espacios porosos a través de una apropiada selección de materiales polímeros y agentes de enlace.

5. METODOS PARA CONTROLAR EL FLUJO DE GAS.-

Flujo de gas en el anular, migración de gas y filtración del gas son todos términos sinónimos que manifiestan presencia de gas en el anular después de la cementación o el gas es detectado en diferentes horizontes por medio de registros sísmicos o de temperatura.

El comportamiento de estos fenómenos y su efectivo control han sido bien documentados a través de muchos años superándose con el tiempo las técnicas y sus resultados.

5.1. CALCULO DEL FACTOR DE POTENCIAL DE FLUJO DE GAS.-

Este método es usado para determinar el mecanismo a seguir para el control del flujo de gas.

La ecuación que corresponde al potencial de flujo de gas es:

$$GFPF = \frac{MPR}{OBP}$$

donde:

MPR = Máxima Reducción de Presión para un valor de esfuerzo de gel dado.

OBP = Presión de sobrecarga (presión hidrostática menos presión de formación).

GFP = Potencial de flujo de gas, número adimensional que indica la severidad o probabilidad de que ocurra una migración de gas.

Esta ecuación utiliza el valor de esfuerzo de gel estático considerado en la ecuación:

$$MPR = \frac{SGS}{300} \frac{L}{D}$$

donde SGS es 500 lbs/100 pies² que no permite la filtración del gas.

El tiempo requerido para alcanzar 500 lbs/100 pies² es definido como el tiempo de transición de la mezcla de cemento en la teoría de migración de gas en cementaciones.

5.2.SOLUCIONES DE ACUERDO AL VALOR DEL FACTOR DE POTENCIAL DE FLUJO DE GAS.-

Para mayor entendimiento del método se tiene el siguiente ejemplo práctico.

5.2.1.CALCULO DEL MPR.-

$$MPR = \frac{SGS}{300} \frac{L}{D}$$

$$SGS = 500 \text{ lbs}/100 \text{ pies}^2.$$

$$L = 4,000 \text{ pies (altura del cemento).}$$

$$D = \text{diámetro efectivo (diámetro pozo - diámetro casing)} = (9.86 - 7)'' = 2.86''.$$

$$MPR = 2336 \text{ psi.}$$

5.2.2. CALCULO DE LA PRESION DE SOBRECARGA(OBP).-Presión

hidrostática inicial menos presión de formación.

Asumiendo que la profundidad de entrada de gas esté a 11,000 pies y las densidades del espaciador y del lodo de perforación sean de 14.5 lbs/galón y la del cemento 15.2 lbs/galón.

Presión de formación, 7,943 psi.

Presión de sobrecarga 488 psi.

5.2.3. CALCULO DEL FACTOR POTENCIAL DE FLUJO DE GAS(GFPF).-

$$GFPF = \frac{MPR}{OBP} = \frac{2336}{488} = 4.8$$

Luego de muchas experiencias de laboratorio y resultados de campo, los valores de GFPF han sido clasificados en tres grandes rangos indicando la severidad del caso.

Para valores de GFPF menores que 1 no hay restricción alguna.

Para valores de GPPF mayores que 1 y menores que 4.5 se considera un comportamiento mínimo que puede ser subsanado con aditivos de control de pérdida de filtrado o cementos densificados.

5.2.4. CONTROL DEL FILTRADO DURANTE LA CEMENTACION.

-Durante el desplazamiento, una pérdida de filtrado en una zona de alta permeabilidad puede causar el establecimiento de una costra de filtrado de cemento. Como el desplazamiento del cemento continúa, cada volumen de cemento que pasa por este punto de filtración puede perder fluido incrementando la costra en la pared del pozo. La formación de este filtrado a lo largo del intervalo o donde el diámetro del anular es menor puede causar el incremento de la presión de circulación o la disminución del caudal de desplazamiento, pudiendo llegar al extremo de obturar el anular e impedir el desplazamiento.

Un fuerte aumento de la presión de circulación puede causar la fractura de la formación, especialmente en áreas donde la presión hidrostática debe ser muy controlada para evitar el flujo de gas.

Una reducción en el caudal de desplazamiento para minimizar la presión puede originar pobre remoción del lodo de perforación con la consecuente posibilidad de entrada de gas en el anular.

La relación cemento/agua puede también afectar el tamaño de la costra de filtrado de cemento depositado por unidad de volumen de filtrado.

No toda el agua que contiene una mezcla de cemento es removida durante la formación de la costra de filtrado de cemento. Pruebas de laboratorio con cemento tipo H conteniendo 38% de agua indican que una costra dura puede ser formada por la pérdida de 0.371 cm^3 de filtrado de una muestra de 1 cm^3 de mezcla de cemento.

Para esta mezcla de cemento la relación de volumen de filtrado a volumen de costra fué de 0.591.

Es importante resaltar que el régimen de pérdida de fluido de una mezcla de cemento está limitada por la presencia de una costra de filtrado de lodo.

Un incremento en la presión diferencial produce un incremento pronunciado en el régimen de pérdida de filtrado de una mezcla de cemento.

Presiones diferenciales gas aplicadas mezclas de cemento con alta pérdida de filtrado originan microcapilares que actuarán como canales permanentes en la migración de gas.

Para valores de GPPF mayores que 4.5 y menores que 8.5 se

considera un comportamiento moderado que puede ser controlado mediante el uso de LATEX que permita desarrollar una mezcla de cemento con muy baja pérdida de fluido, retardando el desarrollo de esfuerzo de gel y un mínimo tiempo de transición. (Ver figura 9).

El retardo en el desarrollo del esfuerzo de gel estático permite a la mezcla de cemento transmitir presión hidrostática por un mayor período de tiempo que un cemento convencional.

Para valores de GPPF mayores que 8.5 se considera un comportamiento severo que puede ser controlado con el uso de cementos compresibles y cementos espumados.

5.2.5.CEMENTOS COMPRESIBLES.-La aplicación de cementos compresibles requiere de un minucioso análisis del sistema pozo/mezcla, que garantice un diseño efectivo.

Incrementando la compresibilidad del cemento, se puede recuperar el volumen perdido durante la etapa de transición entre líquido y sólido.

La cantidad de gas requerido para incrementar la compresibilidad del cemento y que permita prevenir el flujo de gas, es calculada en base a los parámetros de la mezcla de cemento y las condiciones del pozo.

El incremento en la compresibilidad del cemento para prevenir el flujo de gas es determinado por la diferencia de presiones entre la presión hidrostática inicial y la presión poral del gas de formación.

El volumen y rendimiento de la mezcla de cemento relacionados a la reducción de volumen debido a la hidratación química y el control de pérdida de fluido del cemento, son considerados en el cálculo del incremento de la compresibilidad del cemento.

En la Tabla 1 se tiene una relación completa de los parámetros requeridos para hacer el cálculo respectivo.

Este sistema de control puede ser aplicado en cementaciones primarias (laina, casing), cementaciones forzadas y tapones de cemento.

Los aditivos se encuentran disponibles como líquidos o sólidos y ayudan a eliminar el problema de reducción de volumen y presión mediante la formación de una fase compresible gaseosa; la reducción de volumen que ocurre en la columna de cemento, es compensada por la capacidad expansiva del cemento.

En la Fig. 10 se ilustra el comportamiento de dos mezclas una convencional y otra con propiedades expansivas.

Si la presión hidrostática vs. la curva de tiempo de transición se interseptan en un punto por encima de la línea presión de gas de formación, el flujo de gas no ocurrirá.

Se observa que la intersección 1 está debajo de la línea de presión de gas, indicando que la migración de gas ocurrirá si el pozo es cementado con una mezcla de cemento con un aditivo de control de filtrado convencional

Si el pozo es cementado con un cemento expansivo, la intersección 2 ocurre en un punto por encima de la línea de presión de gas de formación y la migración de gas no ocurrirá.

5.2.6.CEMENTOS ESPUMADOS.—Para propósitos de controlar una posible migración de gas se puede utilizar un cemento espumado con densidades dentro del rango normal del uso de un cemento convencional.

El gas (generalmente nitrógeno), disperso a través de la columna de cemento como microesferas estables, causan la expansión de la mezcla compensando de esta manera la pérdida de volumen y la correspondiente disminución de la presión hidrostática.

Cementos espumados de muy baja densidad son empleados para zonas de muy baja gradiente de fractura que difícilmente podrían soportar la columna hidrostática de un cemento convencional con la consecuente pérdida de volumen, reducción de la presión hidrostática y la inevitable migración de gas.

6. CONCLUSIONES .

Los siguientes parámetros inciden directamente en la eficiencia de un programa de control de migración de gas:

Efectiva presión hidrostática.

Eficiente control de filtrado.

Eficiente remoción de la costra de lodo.

- Centralización óptima del revestimiento.

Incrementos en el caudal de desplazamiento, (dentro de los límites de la gradiente de fractura).

Movimiento vertical del revestimiento durante el desplazamiento.

Uso de rascadores, especialmente frente a las zonas de mayor diámetro.

Métodos que permitan incrementar la compresibilidad de las mezclas de cemento, manteniendo la presión poral por encima de la presión de gas de formación, reduciendo la posibilidad de la migración de gas dentro del anular.

La aplicación de cementos compresibles muestran una alta eficiencia estadística (estimada en un 85%) en el control de la migración de gas.

Los cementos compresibles son aplicados indistintamente en cementaciones primarias, cementaciones forzadas o tapones de cemento.

El desarrollo retardado del esfuerzo de gel, permite

a la mezcla de cemento permanecer mayor tiempo en estado líquido que las mezclas de cemento convencionales, manteniendo de esta manera un mayor control sobre las zonas de alta presión de gas.

La gelación de los cementos con esfuerzo de gel retardado no se inicia hasta que la reducción de volumen de la mezcla de cemento por pérdida de filtrado haya ocurrido casi en su totalidad.

Los cementos con esfuerzo de gel retardado desarrollan un tiempo de transición muy corto después de haber transcurrido el tiempo de retardo (Ver Fig.9); asimismo desarrollan un excelente esfuerzo a la compresión.

La pérdida de filtrado y los cambios de volumen durante la hidratación causan una disminución en la presión poral que no puede ser restablecida por la columna de cemento y/o fluidos ubicados por encima de este punto.

La razón de pérdida de filtrado de una mezcla de cemento está limitada por la presencia de una costra de filtrado de lodo.

La pérdida de filtrado decrece con el tiempo.

Incrementos en la presión diferencial producen una mayor pérdida de filtrado en la mezcla de cemento.

Aditivos convencionales de control de pérdida de filtrado que actúan formando una costra en la interfase cemento/zona permeable, no son adecuados

para prevenir la filtración de gas en la matriz del cemento.

Modelos matemáticos han demostrado que la filtración o canalización de gas son efectivamente controlados por la interacción del desarrollo retardado del esfuerzo de gel estático y la compensación de la reducción de volumen en el fondo del pozo.

Los mismos mecanismos que originan una migración de gas, también pueden ocasionar un pobre acoplamiento cemento/revestimiento y/o cemento/formación.

Las mezclas de cemento durante la hidratación atraviesan por un estado que no es ni líquido ni sólido (estado de transición).

Durante el estado de transición, las mezclas de cemento no transmiten efectivamente la presión hidrostática.

Durante el estado de transición, las mezclas de cemento sufren una reducción de volumen debido a la hidratación química y la pérdida de filtrado.

La invasión de gas dentro de la matriz del cemento puede ser prevenida inmovilizando los fluidos (evitando el filtrado) dentro de los espacios porales a través de una adecuada elección de polímeros (LATEX) y agentes obturantes (microesferas).

Mecánicamente se puede prevenir la migración de gas siempre que se trate de una condición **mínima**; para este propósito se recomienda:

- 1) Aplicar presión en el anular.
- 2) Diseñar la cementación en múltiples etapas, reduciendo de esta manera la altura de la columna de cemento.
- 3) Incrementar la densidad de las mezclas de cemento (sin exceder la gradiente de fractura).

8. BIBLIOGRAFIA

- A STUDY OF COMPLETION PRACTICES TO MINIMIZE GAS
COMMUNICATION.

BY: GREG CARTER, MEMBER AIME AND KNOX STAGLE, HALLIBURTON
SERVICES.

- FIELD EVALUATION OF METHOD TO CONTROL GAS FLOW FOLLOWING
CEMENTING.

BY: LARRY T. WATTERS AND FRED L. SABINS, HALLIBURTON
SERVICES.

- GAS LEAKAGE IN PRIMARY CEMENTING.

BY: W. CHRISTIAN AND G. WARREN OSTROOT, HALLIBURTON
SERVICES.

METHOD TO DETERMINING DOWNHOLE PROPERTIES THAT AFFECT GAS
MIGRATION AND ANNULAR SEALING.

BY: D. L. SUTTON AND K.M. RAVI, HALLIBURTON SERVICES.

- TRANSITION TIME OF CEMENT SLURRIES BETWEEN THE FLUID AND
SET STATE.

BY: FRED SABINS, DAVID SUTTON AND JOHN TINSLEY,
HALLIBURTON SERVICES.

- AN INVESTIGATION OF ANNULAR GAS FLOW FOLLOWING CEMENTING OPERATIONS.

BY: J. A. GARCIA AND C. R. CLARK, MEMBERS OF AIME.

- THE INABILITY OF UNSET CEMENT TO CONTROL FORMATION PRESSURE.

BY: W. WILLIAM AND STONE, MEMBERS OF AIME.

- GAS FLOW IN CEMENTS.

BY: F.R.CHEUNG Y ROBERT M. BEIRUTE, MEMBERS OF SPE.

- USE OF EXPANDING CEMENT IMPROVES BONDING AND AIDS IN ELIMINATING ANNULAR GAS MIGRATION.

BY: E.A.SEIDEL AND T.G.GREENE, MEMBERS OF SPE.