



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERIA EN  
CIENCIAS DE LA TIERRA

TECNOLOGIA DE LECHADAS DE CEMENTO  
ULTRA-LIGERO PARA ZONAS DEPRESIONADAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO PETROLERO**

P R E S E N T A :

MARCO ANTONIO MORENO BELIO

DIRECTOR  
M.I. JOSÉ MARTÍNEZ PÉREZ





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## RESUMEN

En el presente trabajo hablaremos sobre lo que es una lechada de cemento, tanto de sus propiedades físicas como de la metodología que se sigue y los parámetros que debemos tener muy presentes para el diseño de una lechada convencional de acuerdo al tipo de operación que se vaya a realizar. También trataremos la problemática que se tiene con este tipo de lechadas.

Se presenta como la aplicación de un nuevo sistema de lechadas Ultra-Ligeras cuyas propiedades físicas son mejores que de las convencionales, como una solución a la problemática que se ha venido presentando en la cementación de tuberías de revestimiento en zonas depresionadas y en presencia de gas.

Hablaremos también de la aplicación de esta nueva tecnología de lechadas en pozos del Campo Cantarell de la Región Marina, en México y los beneficios que se han obtenido con esta nueva tecnología .

Por último veremos un análisis económico de la operación de cementación con una lechada convencional y una Ultra-Ligera. Teniendo como resultado que la correcta aplicación de una lechada Ultra-Ligera a futuro es menos costosa que la de una convencional.

---

# INDICE

	Página
<b>Resumen.</b>	
<b>Introducción.</b>	1
<b>I Lechadas de Cemento Convencionales.</b>	2
I.1 Propiedades de la Lechada convencional.	4
I.2 Diseño de la Lechada Convencional.	12
I.3 Problemas durante la cementación en Zonas Depresionadas y/o en presencia de gas	14
<b>II Lechadas UltraLigeras.</b>	16
II.1 Propiedades de la Lechada UltraLigera.	17
II.2 Control de la Fracción Sólida.	22
II.3 Ventajas de las Lechadas UltraLigeras en Zonas Depresionadas y/o presencia de gas.	30
<b>III Casos Históricos de México (Campo Cantarell).</b>	43
III.1 Antecedentes.	43
III.2 Plataforma Akal "H" Cantarell 2091	46
III.3 Plataforma Akal "DB" Cantarell 53D	51
III.4 Plataforma Akal "DB" Cantarell 80	57
III.5 Plataforma Akal "F" Cantarell 28	62
<b>IV Análisis Económico</b>	69
IV.1 Costos de Operación con una Lechada convencional.	69
IV.2 Costos de Operación con una Lechada UltraLigera.	70
<b>Conclusiones.</b>	73
<b>Recomendaciones.</b>	74
<b>Bibliografía.</b>	75

## INTRODUCCION

La explotación de los yacimientos, con el tiempo ocasiona que las formaciones porosas y permeables que contienen los hidrocarburos, pierdan sus condiciones originales de presión, temperatura y volumen, además de otras características físicas y químicas.

Por lo que, cuando es necesario perforar nuevamente estas formaciones sufren fenómenos indeseables como las pérdidas de circulación, que a parte de ser costosas por la pérdida de productos químicos de los fluidos de control y cementación, originan daños a la formación en permeabilidad principalmente, lo que a su vez se traducen en costos para inducción, estimulación y limpieza.

Además se ocasionan la falla de aislamiento de las tuberías de revestimiento, que de intentar corregirse representan altas erogaciones en cementaciones forzadas.

El objetivo de este trabajo, es presentar una nueva tecnología para la cementación de tuberías de revestimiento en zonas de bajo gradiente de presión, con casquete de gas, zonas cavernosas, zonas naturalmente fracturadas y permeables.

Las lechadas de cementos ultraligero con alta resistencia a la compresión es un sistema novedoso en el diseño de lechadas de cemento que aplica la tecnología de la industria de la construcción, son lechadas con volúmenes menores de agua , aplicable para zonas de bajo gradiente de presión de fractura ( 0.90-1.50 gr/cc).

Con este tipo de lechadas de cemento ultraligero, se elimina la lechada de amarre a la zapata, son de fácil bombeo, tienen corto periodo de transición lo cual no permiten la migración de gas, crea columnas mayores de cemento de buena adherencia. Por lo expuesto anteriormente se obtienen ahorros en los costos de las cementaciones con lechadas Ultra-Ligeras. También durante los disparos no se pierde calidad del cemento.

Además la tecnología de lechadas de cemento ultraligero ofrece, baja permeabilidad y porosidad, crean sellos hidráulicos entre la formación-cemento y cemento-T.R.

## CAPITULO I

### LECHADAS DE CEMENTO CONVENCIONALES

Las lechadas de cemento son suspensiones altamente concentradas de partículas sólidas en agua.

El contenido de sólidos de una lechada de cemento puede llegar hasta un 70 %. Como se muestra en la figura 1.

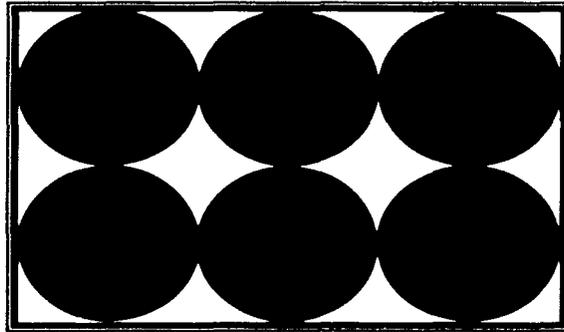


Figura 1 Contenido de sólidos de una lechada de cemento convencional

La reología de la lechada de cemento está relacionada con la del líquido de soporte, la fracción volumétrica de los sólidos (volumen de partículas / volumen total) y la interacción entre las partículas.

En una lechada de cemento, el fluido intersticial es una solución acuosa de varias clases de iones y aditivos orgánicos. Por lo tanto la reología de la lechada difiere de la reología del agua.

Las interacciones de las partículas dependen principalmente de la distribución de las cargas superficiales.

Los dispersantes del cemento, ajustan las cargas superficiales de las partículas para obtener las propiedades reológicas deseadas de la lechada ver figura 2

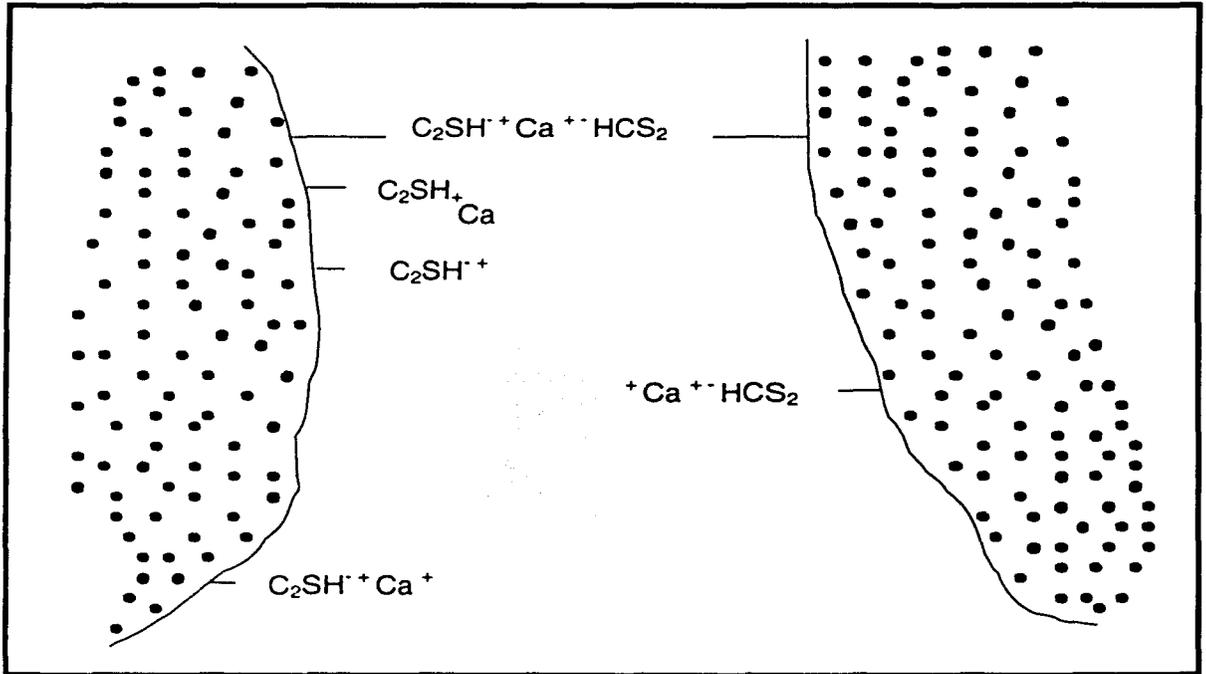
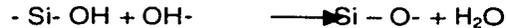


Figura 2 Interacción de partículas

## Ionización superficial de las partículas del cemento en un medio acuoso

La hidrólisis de algunos compuestos orgánico e inorgánicos conducen a ionización y, por consiguiente, a cargas superficiales. Este es el caso de la Silice que forma la mayor parte de los elementos del cemento, y cuya fórmula es:



Los iones libres del calcio en la solución reaccionarán con los grupos cargados negativamente sobre la superficie de los granos. Un ion de calcio puede unirse a dos grupos, Si - O - los cuales pueden estar en un mismo grano o en dos granos diferentes.

El puente entre dos granos se debe a que el área superficial del cemento es grande y compite por los iones de calcio entre los sitios de adsorción. Una parte de los granos del cemento pueden estar cargados positivamente, debido a la adsorción del calcio, mientras que otra parte está cargada negativamente, como resultado, ocurren las interacciones entre las porciones cargadas positivamente.

## I.1 Propiedades de la Lechada Convencional

### Visco plasticidad de las lechadas de cemento

Cuando se mezcla cemento en polvo y agua se forma una estructura de gel en toda la lechada, que impide el flujo con esfuerzo cortante menor al esfuerzo de corte dado por el valor de cedencia. Es el resultado de la interacción electrostática entre las partículas. A esfuerzos de corte menor al valor de cedencia, la lechada se comporta como un sólido. Este puede originar algunas deformaciones finitas, de compresión o, eventualmente, de deslizamiento, pero no fluye.

Arriba del valor de cedencia, la lechada se comporta como un líquido comprendido en el modelo Bingham, con viscosidad plástica bien definida.

Como se puede ver en la figura 3 experimentalmente, las curvas de esfuerzo cortante y velocidad de corte son aproximadamente lineales; la pendiente de la línea es la viscosidad plástica y su ordenada al origen es el valor de cedencia.

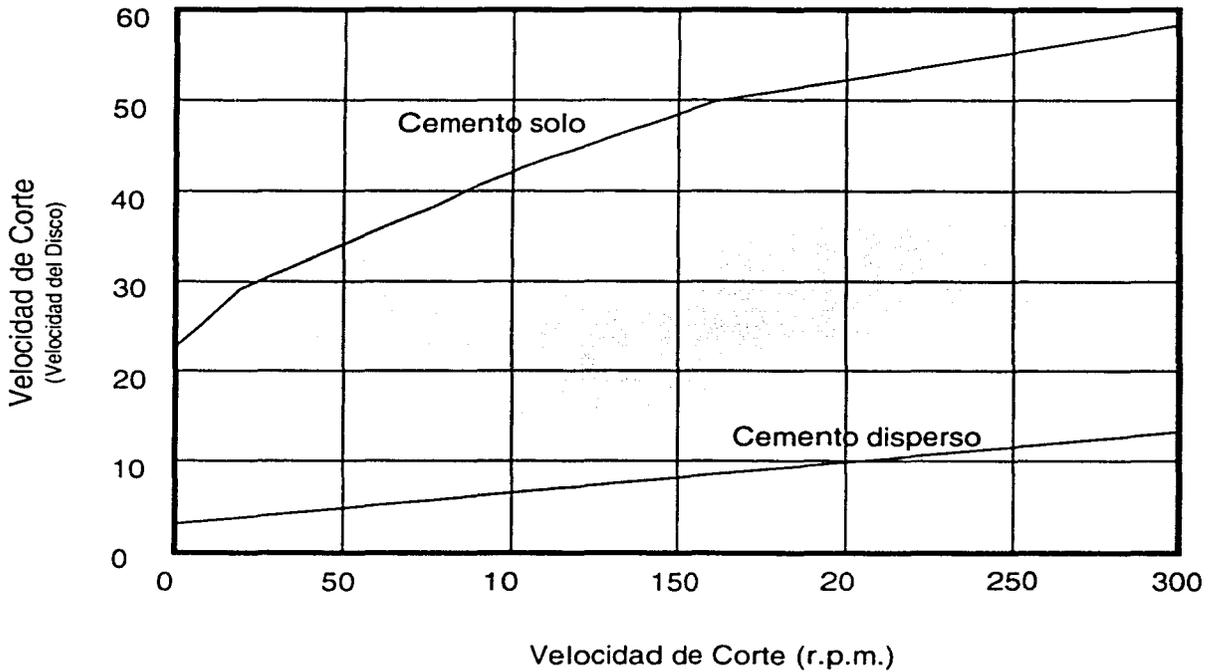


Figura 3 Curvas de esfuerzo de corte y velocidad de corte

Sin embargo, la " viscosidad aparente ", representada por la relación entre el esfuerzo cortante, velocidad de corte, en su lugar ésta disminuye con el incremento del esfuerzo cortante.

Una vez que el valor de cedencia es rebasado, la lechada ya no se comporta como unidad; se rompe en partes y agregados de partículas que se mueven entre unas y otras. Estos agregados contienen agua intersticial, lo que da como resultado que el volumen efectivo de la fase dispersa sea mayor que el volumen de los granos de cemento.

### **Densidad**

La densidad de una lechada convencional es determinada por la relación agua / sólido.

La densidad normal, es decir emplea el requerimiento API de agua normal de mezcla. El API marca en su normatividad 5 pec 10 que el agua normal es aquella en la que la lechada obtiene 11 Uc (unidades de consistencia) a los 20 minutos después de agitarse en el consisto metro de presión atmosférica a condiciones ambientales de presión y temperatura.

### **Filtrado**

Es cuando la fase acuosa de la lechada escapa al interior de la formación y deja las partículas sólidas detrás.

El valor de filtrado API se mide en  $\text{cm}^3$  a 30 minutos bajo una presión de diferencial de 1000 psi.

Cuando una lechada de cemento se coloca a través de una formación permeable bajo presión ocurre el proceso de filtración.

Si el filtrado no se controla puede afectar seriamente el trabajo que este realizando. A medida que la fase acuosa decrece, la densidad de la lechada se incrementa. Como resultado, el

comportamiento de la lechada diverge del diseño original (reología, tiempo de espaciamiento). Si es mucho el fluido filtrado a la formación, la lechada no se puede bombear.

El API marca un filtrado para la lechada de cemento del orden de  $1500 \text{ cm}^3/30 \text{ min}$ . En la mayoría de las operaciones se requiere mantener un valor de filtrado menor de  $50 \text{ cm}^3/30 \text{ min}$  para un trabajo adecuado de la lechada, por ello se emplean materiales conocidos como agentes de control de filtrado, los cuales se incluyen en el diseño de la lechada.

La reducción de la permeabilidad del enjarre es el parámetro más importante observado en el control del filtrado. Cuando una lechada con suficiente agente de control proporciona una velocidad de filtrado API de  $25 \text{ cm}^3/30 \text{ min}$ , el enjarre es aproximadamente 1000 veces menos permeable que el obtenido con una lechada.

### **Agua Libre**

Como efectos laterales de la adición de dispersantes la lechada puede mostrar sedimentación, tener un gradiente de densidad uniforme de la cima al fondo de un contenedor, mostrar agua libre, o bien, tener una capa de fluido sin carga de partículas sólidas sobre la parte superior de la lechada. Es posible que en la parte superior se tenga agua libre y exista una lechada homogénea en el fondo, también es posible que ocurra la sedimentación sin desprendimiento de agua libre.

Cuando las partículas del cemento están en suspensión no se encuentran totalmente dispersas, e interactúan a través de fuerzas electrostáticas que forman una estructura densa que soporta el peso de una partícula dada. Si el espacio anular en el pozo es suficientemente estrecho, el peso de la partícula se trasmite a las paredes y la lechada se soporta a sí misma.

Es raro que lo descrito ocurra, consecuentemente el peso de la partícula del cemento se trasmite al fondo a través del gel y ocurre la deformación de la estructura. El agua es forzada a salir de la porción más baja de la lechada y se acomoda en las capas superiores que sufren el menor esfuerzo.

La habilidad de las capas superiores para acomodar el agua adicional es limitada; así, una capa de agua puede formarse en la cima de la lechada como se muestra en la figura 4.

### **Sedimentación**

Los dispersantes suprimen las interacciones entre las partículas de cemento por la neutralización de los sitios cargados positivamente. Cuando el proceso se termina, las partículas se repelen entre sí a través de interacciones de doble capa. El rango de acción de estas fuerzas es muy corto debido a la alta ionización del medio, de tal forma que las fuerzas repulsivas permiten el empacamiento uniforme de las partículas. En una lechada completamente dispersada, las partículas se encuentran libres para caer en el campo gravitacional y así colocarse en el fondo del contenedor. En la realidad esta situación ideal nunca ocurre; en su lugar se establece un gradiente de densidad.

El fenómeno descrito se explica a través de tres propuestas, las cuales comprenden el concepto de polidispersión de las partículas y que, sin importar su tamaño, se comporten de manera diferente.

Las tres propuestas son:

- 1.- Las partículas más pequeñas aún no se han asentado.
- 2.- Las partículas más pequeñas están prevenidas del asentamiento por movimiento browniano.
- 3.- El gel floculado no es lo suficientemente fuerte para soportar las partículas más grandes.

Cuando el pozo está altamente desviado u horizontal no acepta columnas de cemento heterogéneas, pues requiere suficiente fuerza mecánica del cemento fraguado y un aislamiento más apropiado de las zonas.

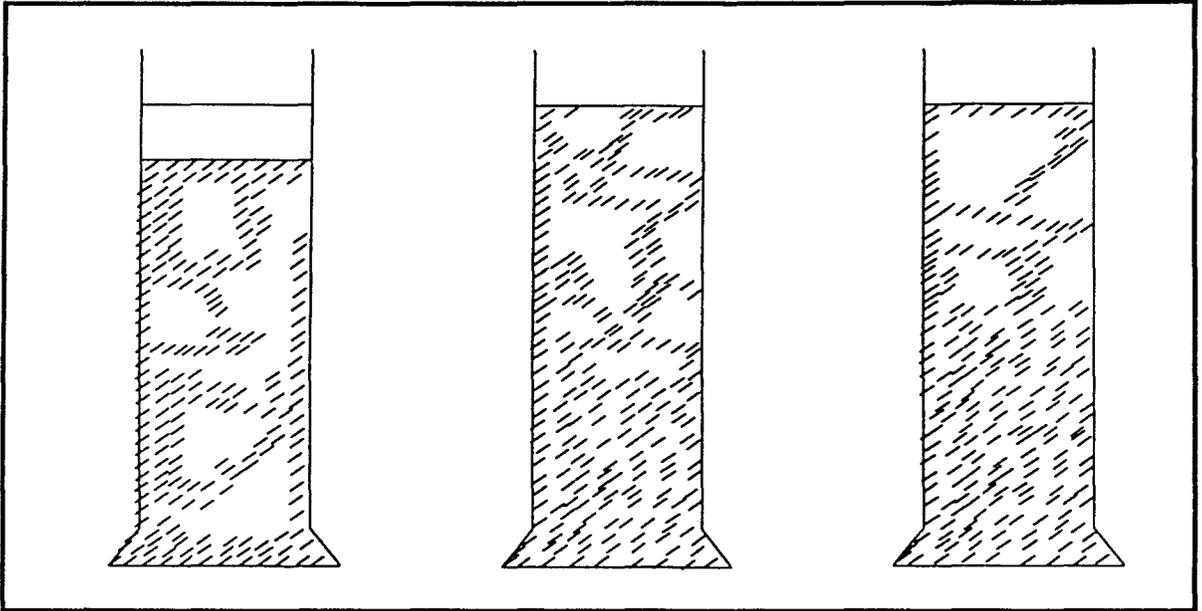


Figura 4 Agua libre, sedimentación y segregación

Un estudio minucioso con una gráfica de agua libre y valores de cedencia contra la concentración del dispersante revela que, con un rango entre 0.2 y 0.3% por peso de cemento, la lechada es suficientemente fluida y estable.

En el campo, el control de la concentración del aditivo en un rango tan estrecho es difícil. Así los agentes antiprecipitación son a menudo adicionados para ampliar el rango de concentración dentro del cual bajan los valores de cedencia y puede originarse agua libre.

Los agentes antiprecipitación son materiales que resultaran parte del valor de cedencia, a un nivel compatible con las condiciones de bombeo y la presión de fricción, donde la formación del pozo puede soportar.

La bentonita se puede emplear para reducir el asentamiento de la lechada. Ésta absorbe grandes cantidades de agua, y así la lechada se mantiene homogénea. El agua de mar y los silicatos pueden mejorar la estabilidad de la lechada; además algunas sales metálicas tales como  $\text{NaCl}_2$  y  $\text{MgCl}_2$  construyen débiles pero extensas estructuras de hidroxilos a través del volumen de la lechada.

### Tiempo de Bombeo

Se define como la suma del volumen de la mezcla de la lechada del cemento más el volumen del lodo de desplazamiento entre el gasto de bombeo, es decir:

$$T_{\text{Bombeo}} = ( V_{\text{Mezcla de Lechada}} + V_{\text{Desplazante}} ) / Q_{\text{Bombeo}}$$

El tiempo de bombeo, es un factor muy importante, el cual debemos tener muy presente; durante la realización de cementaciones de cualquier tipo. Ya que un mal cálculo de este concepto nos ocasionaría problemas; como el fraguado prematuro de la lechada durante el bombeo y/o desplazamiento de la misma, daños al equipo de bombeo y/o abandono del pozo.

### Permeabilidad

La definimos como la capacidad del paso de los fluidos a través del medio poroso, es decir la comunicación que existe entre los poros. Consecuentemente en las lechadas convencionales con grandes contenidos de agua tenemos permeabilidades altas debido a que el espaciado entre la parte sólida de la lechada es grande debido a la gran cantidad de agua tenemos grandes permeabilidades de la lechada.

## Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un cemento a carga axial. La resistencia a la compresión de las lechadas convencionales se encuentra en el rango de 1500 a 2000 psi a las 24 horas.

## Porosidad

La porosidad afecta directamente a la densidad de la lechada de cemento (a mayor porosidad menor densidad), el tiempo de fraguado (a mayor porosidad aumenta el tiempo de fraguado), el esfuerzo compresivo (a menor porosidad incrementa el esfuerzo compresivo), la estabilidad (a menor porosidad, mejor es la estabilidad del cemento fraguado), la pérdida de líquidos (a menor porosidad, se mejora el control de la pérdida de fluidos) y la reología (a menor porosidad, se tiene mayores propiedades reológicas). Los valores de porosidad de una lechada convencional de 1.90 gr/cc son del orden del 32-34 %. En la figura 5 se observa la porosidad de una lechada convencional en función a la cantidad de agua de mezcla necesaria.

## POROSIDAD

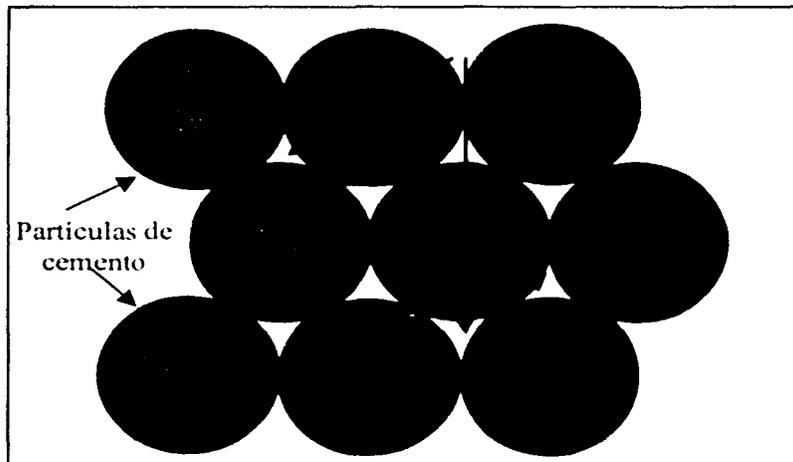


Figura 5 Porosidad de una lechada convencional

## I.2 Diseño de la Lechada Convencional

El diseño de la lechadas de cemento inicia con el estudio reológico de las lechadas de cemento y de los fluidos que formarán parte de la operación de cementación. Esta parte del diseño está muy ligada al trabajo de laboratorio y, si se combinan, se obtienen las bases de las alternativas de diseño que habrán de seguirse. Para su aplicación en el pozo, un buen diseño de lechada de cemento dará lecturas del viscosímetro rotacional bajas y aportará valores de los parámetros reológicos más apropiados. Así se obtendrá un Número de Reynolds mayor al Número de Reynolds Crítico, con gastos relativamente bajos, posibles de ser efectuados con la bomba del equipo de cementación durante el desplazamiento, acorde a la geometría del anular entre tubería de revestimiento y agujero.

Cuando un diseño que se está analizando presenta lecturas altas en el viscosímetro rotacional, se debe modificar la porción de los aditivos; en especial, debe vigilarse que el agente fluidizante no origine el asentamiento de sólidos y la liberación de agua. La interrelación del fluidizante con el agente de control de filtrado juega, también, un papel importante en el diseño y siempre se debe buscar un estado de equilibrio entre ambos en función de la temperatura. Los agentes retardadores de fraguado basado en lignosulfonato y cromolignosulfonato presentan un efecto dispersante en las lechadas de cemento, el cual debe ser tomado en cuenta al diseñar. Todo esto nos indica la facilidad de cambio de los parámetros reológicos y en general obtener el diseño que más favorezca a la eficiencia del desplazamiento en el espacio anular.

La alternativa que se seleccione deberá contar con el mejor diseño de lechada, la velocidad de viaje de la lechada en el espacio anular con el menor gasto de bombeo posible y estar lo más arriba de la zona de transición de régimen laminar a turbulento; es decir, se debe tener la menor caída de presión originada por la fricción con los fluidos que se están manejando en el pozo durante la operación de cementación.

La densidad de la lechada debe ser, invariablemente, un poco mayor que la densidad del fluido de perforación para mantener el control del pozo.

La densidad del fluido de perforación está directamente ligada a la presión de poro de la formación y limitada por la presión de fractura debido a la existencia de zonas de presión anormal o existencia de zonas débiles, por lo cual la densidad de la lechada no puede diferir drásticamente de este juego de presiones.

Ya que se tiene la densidad deseada, se procede a regular el filtrado. Se emplea entonces un agente de control de filtrado para lechadas de densidad normal a un porcentaje bajo del orden de 0.3 a 0.4% por peso de cemento, combinado con un porcentaje bajo de un agente fluidizante que le ayude en su trabajo del orden de 0.3% por peso de cemento el valor que se debe obtener es de aproximadamente  $50 \text{ cm}^3/30 \text{ min}$  bajo una presión diferencial de 1000 psi.

Con el filtrado controlado se procede a mejorar la fluidez de la lechada a manera de reducir al máximo las pérdidas por fricción durante el desplazamiento por el espacio anular. Es importante considerar durante la ponderación de este parámetro, que de acuerdo con las investigaciones en el laboratorio de reología, la eficiencia de desplazamiento se mejora cuando el cemento viaja en el espacio anular a una velocidad mínima de 80 m/min y a medida que se incrementa esta velocidad, la eficiencia mejora.

El volumen de la lechadas es una función directa de la geometría del pozo, del diámetro de la tubería que se va a cementar y de la longitud del espacio anular que se va a cubrir.

La cantidad de cemento idóneo para obtener el volumen de lechada, se calcula sobre la base de rendimiento que se obtiene de cada saco de cemento. Se debe considerar el diseño por medio de un balance de materiales.

El tiempo de bombeo se determina mediante la dosificación de un retardador de fraguado para altas temperaturas o de un acelerador de fraguado para temperaturas menores según sea el caso. El tiempo de fraguado inicial que se le debe de dar a una lechada es el tiempo necesario para efectuar la operación en el pozo; es decir, el tiempo necesario para preparar y bombear la totalidad de la lechada a una velocidad de mezclado de 1 tonelada/minuto, más el tiempo de desplazamiento de la lechada al espacio anular al gasto máximo permisible, más un factor de seguridad en tiempo de  $1 \frac{1}{2} \text{ h}$ , en los casos donde el tiempo total sea mayor o igual a 5:30

horas, por el volumen de cemento empleado, se debe efectuar el trabajo de cementación con dos o más unidades de cementación.

El contenido de agua libre. La lechada debe manifestar, invariablemente, un valor de cero  $\text{cm}^3$  de agua libre, debido a que la liberación de agua generalmente está acompañada de precipitaciones de sólidos; en otras palabras, el punto de cedencia de la lechada tiene un valor numérico de cero o inferior a cero y el fluido deje de ser no-newtoniano para convertirse en newtoniano. Además al liberarse agua de la lechada es atraída por cargas hidrostáticas a las caras de la tubería y de la formación.

Resistencia a la compresión. Se deben correr pruebas de resistencia a la compresión con el diseño de la lechada completa, para saber en cuanto tiempo desarrolla el cemento fraguado, su resistencia a la compresión y así poder continuar con el pozo con la perforación de la siguiente etapa o con las operaciones de terminación. En la práctica se asume un valor de resistencia a la compresión de  $35 \text{ kg/cm}^2$ , como mínimo, para que la capa de cemento soporte el peso de la tubería. Este valor de resistencia a la compresión se obtiene, generalmente, dentro de las primeras 8 horas de estar en reposo a las condiciones de fondo.

### **1.3 Problemas durante la Cementación en Zonas Depresionadas y/o presencia de Gas**

La producción de aceite que se obtiene de los campos petroleros en la Región Marina de México en su gran mayoría, se encuentra almacenado en rocas carbonatadas y dolomías, con bajo gradiente de presión de poro, trayendo como consecuencia que el aceite no sea producido en una forma natural por lo cual se requiere la implantación de sistemas artificiales de producción.

Debido a que la columna hidrostática del aceite excede la presión de fondo, por lo que en la etapa de perforación y/o cementación se presentan pérdidas de circulación. Las cuales se definen como pérdidas parciales o totales de los fluidos de perforación o de las lechadas de cemento en zonas altamente permeables, formaciones cavernosas, fracturas naturales o inducidas durante las operaciones de perforación y cementación.

La problemática que se nos presentan durante la cementación de las tuberías de revestimiento en zonas depresionadas con bajo gradiente de fractura, con presencia de casquete de gas, son ocasionadas generalmente por las altas densidades de la lechada, la mala adecuación de las propiedades reológicas, alta permeabilidad y porosidad; como también los bajo valores al esfuerzo a la compresión, el control de filtrado, precipitaciones de sólidos (sedimentaciones), así como también los siguientes factores. Todo lo mencionado anteriormente nos trae como consecuencia los siguientes problemas durante la cementación de tuberías:

- a) Sellos deficientes entre la formación y la tubería , complicando así la definición de Intervalos en las terminaciones y reparaciones de pozos.
- b) Mala adherencia entre la tubería de explotación - cemento y cemento – formación
- c) El no poder levantar la altura de la columna de cemento en el traslape de las TR's y estar supeditado al funcionamiento del empacador
- d) La tubería de revestimiento corta queda expuesta a ambientes corrosivos
- e) Provoca daño a la formación, principalmente en la permeabilidad y porosidad; lo que a su vez se transforma en costos para inducción, estimulación y limpieza
- f) Pequeña columna de cemento
- g) Soporte del liner no adecuado
- h) Aportación temprana de agua y/o gas
- i) Excesivo costo, debido a la pérdida del fluido de perforación y lechada de cemento.
- j) Incremento del tiempo del equipo de perforación y operaciones secundarias de cementación

## CAPITULO II

### Lechadas Ultra-Ligeras

Existe una formulación de mezcla de cementación en la que se emplea cemento Portland y aditivos especialmente seleccionados, de tres tamaños de partículas y diferente gravedad específica como se muestra en la figura 6, con lo cual se puede diseñar lechadas en amplio rango de densidades que van de 0.98 a 1.10 gr/cc.

Estas formulaciones se han aplicado con gran éxito en cementación de tuberías de revestimiento, en campos depresionados con bajo gradiente de fractura y en la colocación de tapones de desvío con fluidos de baja densidad.

La tecnología que desarrolla este sistema, es una forma novedosa de diseñar lechadas de cemento de baja densidad, empleando productos simples en una lechada de agua reducida, usando la técnica de los concretos en la industria de la construcción, aplicándolo para la industria petrolera, con densidades menores de 1.10 gr/cc. Una vez, fraguados estos cementos proveen propiedades de resistencia a la compresión y permeabilidad comparables a los cementos de densidad 1.90 gr/cc.

Su metodología está basada en la maximización de la fracción sólida. La fracción sólida, es optimizada usando una razón volumétrica de compuestos finos, medios y gruesos de diferentes granulometrías. Esta tecnología empleada con aditivos adecuados, puede ser usada hasta los 450 °F.

Los parámetros claves en el diseño de una lechada Ultra-Ligera son:

- a) Densidad de la lechada
- b) Porosidad de la lechada
- c) Gravedad específica del cemento

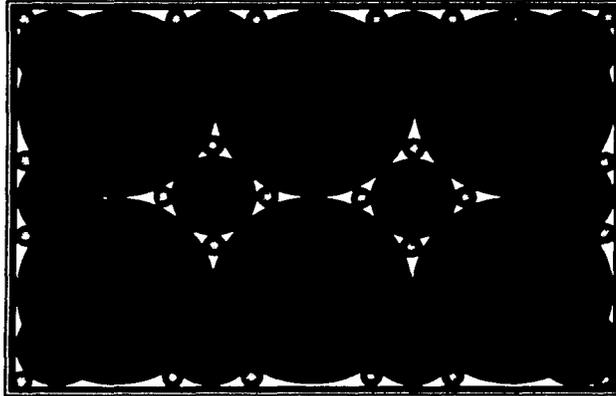


Figura 6 Distribución optimizada de las partículas de una lechada Ultra-Ligera

## II.1 Propiedades de la Lechada Ultra-Ligera

### Densidad

La densidad de una lechada convencional es determinada por la relación agua / sólido. Con la nueva tecnología de cementos ligeros la densidad de la lechada está controlada por la distribución homogénea de partículas para optimizar el contenido de sólidos y líquido; y es función de la gravedad específica de los sólidos (cemento y partículas sólidas) y la porosidad.

Con la densidad de las lechadas Ultra-Ligeras, se puede eliminar frecuentemente una cementación en etapas para grandes intervalos.

La densidad de la lechada es expresada por la siguiente ecuación:

$$D_L = D_s \cdot (1 - P) + D_A P \quad (1)$$

Dónde:

$D_L$ : Densidad de la lechada; gr/cc

$D_S$ : Densidad específica de la mezcla seca (Cemento + Partículas sólidas).

$D_A$ : Densidad del Agua de mezcla = 1 gr/cc.

P : Porosidad de la lechada.

Uno de los mayores cambios introducidos por esta nueva tecnología es la gravedad de la mezcla seca y se deduce de la densidad para una determinada porosidad

$$D_S = (D_L - P) / (1 - P) \text{ ----- (2)}$$

La densidad específica de las mezclas secas optimizadas tienen un rango de 1.26 gr/cc a 1.50 gr/cc.

### Porosidad

La porosidad afecta directamente a la densidad de la lechada de cemento (a mayor porosidad menor densidad), el tiempo de fraguado (a mayor porosidad aumenta el tiempo de fraguado), el esfuerzo compresivo (a menor porosidad incrementa el esfuerzo compresivo), la estabilidad (a menor porosidad, mejor es la estabilidad del cemento fraguado), la pérdida de líquidos (a menor porosidad, se mejora el control de la pérdida de fluidos) y la reología (a menor porosidad, se tiene mayores propiedades reológicas).

La porosidad es directamente proporcional al tiempo bombeable, e inversamente proporcional a la densidad de la lechada, al esfuerzo compresivo, a su estabilidad, pérdida de filtrado. Como se puede ver en la siguiente figura 7 la porosidad de una lechada convencional y la de una lechada Ultra-Ligera.

Una vez que la densidad de la lechada es conocida, la porosidad de la misma es seleccionada, basándose en los requerimientos de eficiencia de la lechada. Las lechadas de baja densidad con alta resistencia a la compresión, su porosidad varía de 40% a 45%, como se puede apreciar en la figura 7.

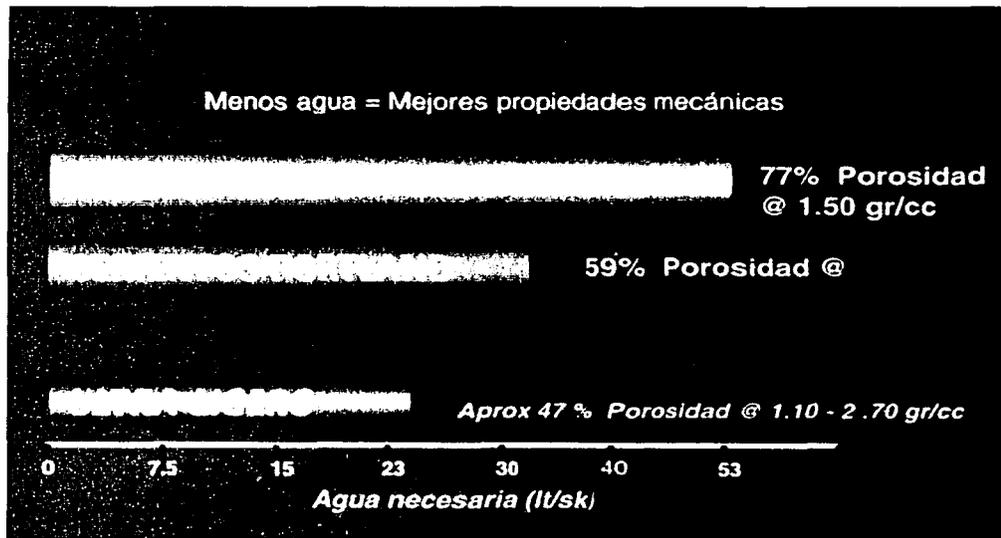


Figura 7 Porosidad de la lechada en función del agua de mezcla

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Propiedades de Cemento fraguado**

Para las propiedades del cemento fraguado, la reducción en la porosidad de la lechada por medio de la optimización de la mezcla seca. Cuando la lechada a fraguado, proporciona iguales o mejores características mecánicas que las obtenidas con una lechada convencional de 1.90 gr/cc y tiene varios beneficios:

### **Encogimiento**

Pruebas comparativas entre lechadas de baja densidad con alta resistencia a la compresión y lechadas convencionales de 1.90 gr/cc indica que las primeras se contraen en 1% comparadas contra 4-4.5%

### **Resistencia a la Compresión**

Con un desarrollo de la resistencia a la compresión entre 50 psi y 500 psi obtenida en un periodo relativamente corto, este efecto directamente reduce el tiempo de espera de fraguado del cemento y ahorra costo y equipo.

La resistencia a la compresión final. Es siempre muy alta, alcanzando valores desde 2000 psi para 1.26 gr/cc hasta más de 3000 psi para densidades mayores de 1.32 gr/cc

En la figura 7 se observa el desarrollo del esfuerzo compresivo de diferentes lechadas con valores de resistencia a la compresión de tres lechadas con diferentes densidades; la lechada de baja densidad y alta resistencia a la compresión de 0.90 gr/cc desarrolla mayor resistencia a la compresión comparada con las otras dos.

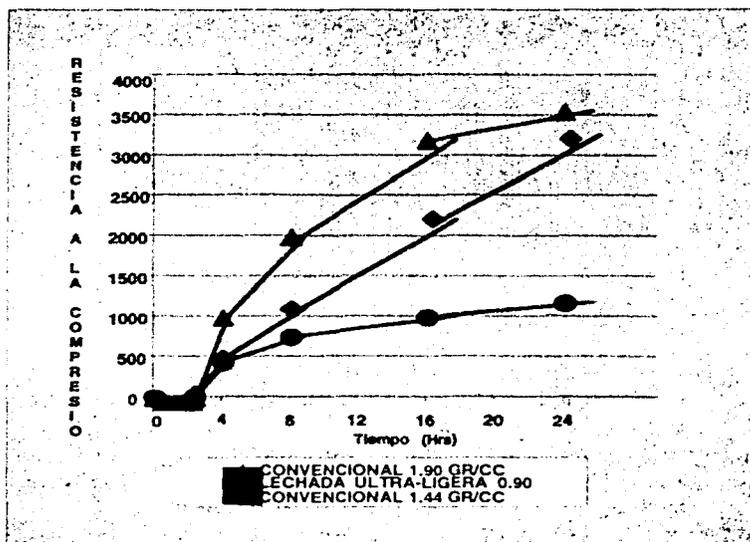


Figura 8 Esfuerzo a la compresión de tres lechadas de cemento con diferente densidad.

## Permeabilidad

Permeabilidad del cemento fraguado. Pruebas comparativas a la densidad de 1.44 gr/cc, entre lechadas de baja densidad y alta resistencia a la compresión y lechadas convencionales indican que las primeras generan una permeabilidad de 0.007 md contra 0.02 md de la convencional.

## Resistencia al ácido

Pruebas comparativas para determinar el porcentaje de pérdida de peso de dos muestras: una lechada de baja densidad y alta resistencia a la compresión de 1.44 gr/cc y otra lechada convencional con densidad de 1.90 gr/cc, expuestas por 4 horas a la combinación de ácido al 12% HCl-3% HF, indican que las primeras generan una pérdida de peso del 5% contra el 17% de la convencional.

## II.2 Control de la Fracción Sólida

La fracción sólida es la relación del volumen de la mezcla seca entre el volumen de la lechada del cemento.

$$\text{Fracción Sólida (\%)} = \frac{\text{Volumen de Mezcla seca}}{\text{Volumen de Lechada}} \quad (3)$$

La porosidad es la relación del volumen del agua de mezcla entre el volumen de la lechada del cemento

$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{\text{Volumen de Agua de mezcla}}{\text{Volumen de Lechada}} \quad (4)$$

$$\text{Fracción Sólida} + \text{Porosidad} = 1 \quad (5)$$

La fracción sólida se puede expresar como:

$$F_s = \frac{D_L - D_A}{D_S - D_A} \quad (6)$$

En donde:

$F_s$  = Fracción Sólida (%)

$D_L$  = Densidad Lechada (gr/cc)

$D_S$  = Densidad Mezcla Seca (gr/cc)

$D_A =$  Densidad Agua de Mezcla (gr/cc)

Por ejemplo, si se desea calcular la Fracción Sólida con los siguientes datos:

$$D_L = 1.17 \text{ gr/cc}$$

$$D_S = 1.33 \text{ gr/cc}$$

$$D_A = 1.00 \text{ gr/cc}$$

esta será:

$$F_s = \frac{1.17 - 1.00}{1.33 - 1.00} = 0.51$$

$$F_s = 0.51 \times 100\% = 51\%$$

Demostración de la densidad de la lechada de la ecuación (1) a partir de la definición de la Fracción Sólida ecuación (6).

Despejando  $D_L$  de la ecuación (6)

$$D_L = F_s \times (D_s - D_A) + D_A \quad (7)$$

Desarrollando

$$D_L = F_s \times D_s - F_s \times D_A + D_A$$

Factorizando

$$D_L = F_S \times D_S + D_A \times (1 - F_S) \quad (8)$$

Por definición se tiene:

$$F_S + P = 1 \quad (9)$$

Despejando P de la ecuación anterior

$$P = 1 - F_S$$

Sustituyendo P en ecuación (2) tenemos

$$D_L = F_S \times D_S + D_A \times P$$

Considerando que la  $D_A$  es igual a 1

$$D_L = F_S \times D_S + P \quad (10)$$

De la ecuación (5)

$$F_S = 1 - P$$

Reordenado términos de la ecuación (10)

$$D_L = D_S \times (1 - P) + P$$

Otra forma de obtener el valor de la Fracción Sólida es mediante el Gasto de Bombeo de la Lechada como se muestra en la siguiente expresión:

$$F_s = \frac{Q_L - Q_A}{Q_L} \quad (11)$$

En donde:

$F_s$  = Fracción sólida ( % )

$Q_L$  = Gasto de la lechada ( bl/min )

$Q_A$  = Gasto de agua de mezcal ( bl/min )

A continuación veremos como influyen la variación de la Densidad y el Gasto de Bombeo en la Fracción Sólida.

Efectos de la Variación de la Densidad sobre la Fracción Sólida.

Considerando una lechada Ultra-Ligera de 1.17 gr/cc de densidad, Fracción Sólida del 51 % y una variación en la densidad del orden del +/- 0.02 gr/cc. Se calculará la Fracción Sólida para dicha variación en la densidad.

Para el caso donde la densidad varía - 0.02 gr/cc se tiene:

$D_L = 1.15 \text{ gr/cc}$

$D_S = 1.33 \text{ gr/cc}$

$$D_A = 1.00 \text{ gr/cc}$$

Aplicando la Ecuación número (6) se tiene:

$$F_s = \frac{1.15 - 1.00}{1.33 - 1.00} = 0.45$$

$$F_s = 0.45 \times 100\% = 45\%$$

Para el caso donde la densidad varía + 0.02 gr/cc se tiene:

$$D_L = 1.19 \text{ gr/cc}$$

$$D_S = 1.33 \text{ gr/cc}$$

$$D_A = 1.00 \text{ gr/cc}$$

Aplicando la Ecuación número (6) se tiene:

$$F_s = \frac{1.19 - 1.00}{1.33 - 1.00} = 0.57$$

$$F_s = 0.57 \times 100\% = 57\%$$

### Efectos de la variación del Gasto de Bombeo sobre la Fracción Sólida

En el siguiente ejemplo consideraremos un error del +/- 1 % en el medidor de flujo tanto en el gasto de bombeo de la lechada, como en el del agua de mezcla y una Fracción Sólida del 54 %. Mediante la aplicación de la ecuación número (11).

$$F_s = \frac{Q_L - Q_A}{Q_L}$$

Primeramente para el caso donde se considera un error del - 1%:

$$Q_L = 5.94 \text{ bpm}$$

$$Q_A = 2.79 \text{ bpm}$$

$$F_s = \frac{5.94 - 2.79}{5.94} = 0.53$$

$$F_s = 0.53 \times 100\% = 53\%$$

Ahora para el caso donde se considera un error del + 1 %:

$$Q_L = 6.06 \text{ bpm}$$

$$Q_A = 2.73 \text{ bpm}$$

$$F_s = \frac{6.06 - 2.73}{6.06} = 0.55$$

$$F_s = 0.55 \times 100\% = 55\%$$

Los rangos de la variación de la densidad de la lechada repercuten en el porcentaje de la fracción sólida.

Los de la variación del gasto de flujo de la lechada repercuten en el porcentaje de la fracción sólida.

### **Sistema de Monitoreo de la Fracción Sólida**

Mediante este sistema se mantienen las densidades de las lechadas en los valores óptimos. Este sistema ofrece un método nuevo para el control de la calidad de la lechada a tiempo real, determinando la relación líquido-sólido independientemente de la densidad de la lechada. Esta tecnología es capaz de mantener la Fracción Sólida en las condiciones requeridas de varias densidades de lechada en el momento de la mezcla. La Fracción Sólida es una medida clave para determinar la calidad de la lechada.

Este sistema calcula la Fracción Sólida de lechadas cuyas densidades son cercanas a la del agua. En aplicaciones recientes en campo de este sistema, el 98 % de los volúmenes de la lechada fueron mantenidas con el 2 % de la Fracción Sólida por arriba de lo requerido. Los servicios del Sistema de Monitoreo de la Fracción Sólida como se ve en la figura 9 es una tecnología complementaria diseñada para proveer un control de calidad de los sistemas de las lechadas Ultra-Ligeras. Aunque este sistema fue desarrollada para lechadas Ultra-Ligeras, este también es efectivo para el control de operaciones con lechadas de cualquier densidad. Mediante esta tecnología.

Se mantiene las propiedades de las lechadas requeridas mientras se tiene un mezclado y un bombeo continuo de los grandes volúmenes de lechadas. El sistema requiere de un medidor de flujo de lechada como un decímetro no radiactivo disponible en las unidades de cementadoras, sensores adicionales, incluyendo un tanque de mezclado y un medidor de flujo de agua. El software Windows-Based ayuda a mantener y ajustar la velocidad de mezclado requerida mediante la aplicación de los procedimientos utilizados en los mezcladores convencionales de lechadas. Dicha tecnología se ha utilizado en un gran número de trabajos en el Medio Este,

México, Indonesia y Estados Unidos. El Sistema de Monitoreo de Fracción Sólida está disponible en todo el mundo para su aplicación tanto para lechadas convencionales como para las Ultra-Ligeras.

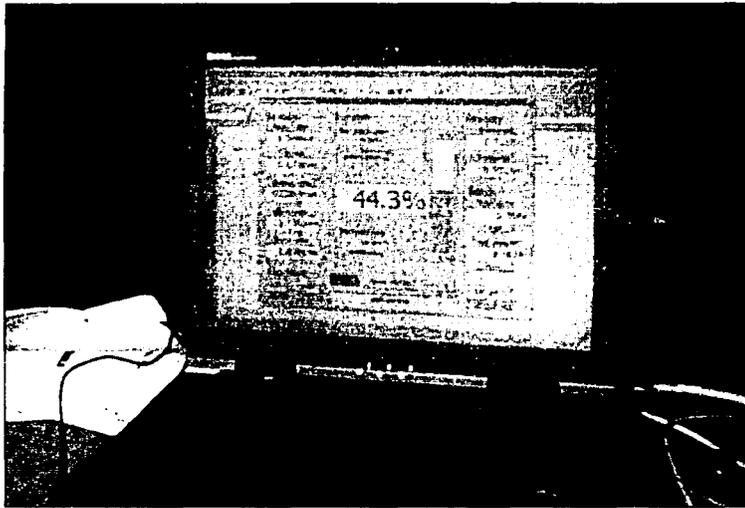


Figura 9 Computadora portátil con el programa de Sistema de Monitoreo de Fracción Sólida

## **II.3 Ventajas de las Lechadas Ultra-Ligeras en Zonas Depresionadas y/o Casquete de Gas**

Mediante la aplicación de las lechadas Ultra-Ligeras se obtienen los siguientes beneficios:

- a) Se logran mejores sellos entre la formación y la tubería, con lo cual se tiene una mejor definición de los intervalos a disparar en las terminaciones y en las reparaciones de pozos.
- b) Una buena adherencia entre la tubería –cemento y cemento-formación
- c) Con este tipo de lechadas se logran levantar alturas de la columna de cemento hasta los traslapes de las TR's, con lo cual no se esta supeditado al empleo de empacadores.
- d) Al tener mayores alturas la columnas de cemento, se evita que la tubería este expuesta al ambiente corrosivo que hay en el pozo.
- e) Con este tipo de lechadas se tiene un mejor soporte de la TR Corta
- f) Se disminuyen los costos de la perforación por la Pérdida Total de Circulación y pérdida de las lechadas.
- g) Un ahorro en los tiempos de equipo de perforación y operaciones subsecuentes.

Pero el más grande beneficio que se tiene es el de la migración de gas que a continuación mencionaremos. También la manera de prevenir esta migración.

## Migración de Gas

Los efectos que causa la migración de gas en el cemento, ya sea manteniéndose el gas en forma confinada dentro de la mezcla de cemento, producida a través de ella, manteniéndose el gas dentro de la zona productora. Dos tipos de migración de gas han sido identificados. La migración de corto tiempo y migración de largo tiempo. La migración de corto tiempo ocurre antes de que la lechada haya fraguado, y la migración de largo tiempo ocurre luego que la lechada ha fraguado, como se puede apreciar en la figura 10.

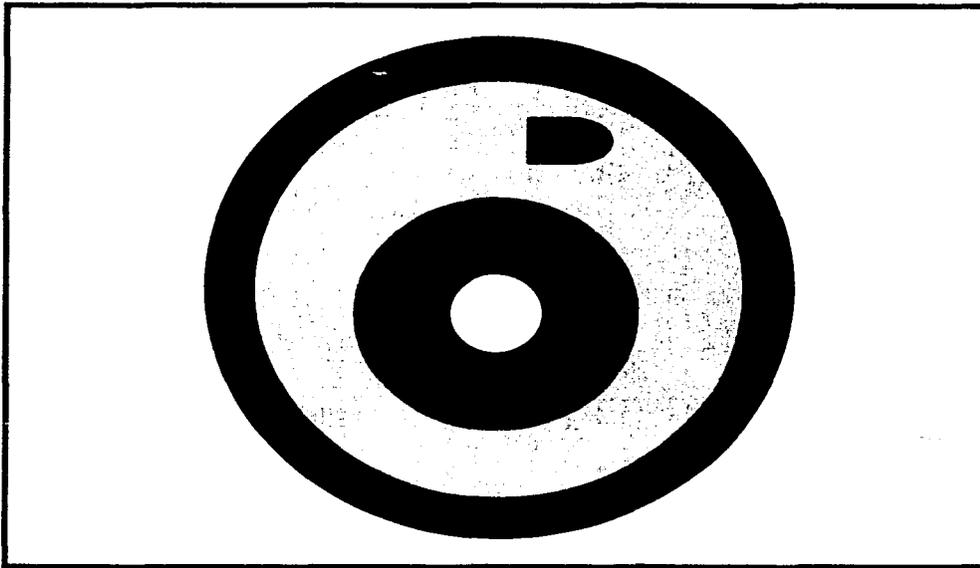


Figura 10 Canal de gas formado por la migración de gas

### Causas de Migración de Gas de Corto - Tiempo

De los dos tipos de migración de gas, la migración de gas de corto tiempo es la que más ha sido estudiada. La causa más extensamente aceptada de migración de gas a través de un cemento no consolidado, es que este es incapaz de mantener la presión sobre balance.

Después de que la lechada de cemento ha sido colocada en el fondo del agujero, esta inicialmente se comporta como un fluido y transmite una presión hidrostática total a la formación. Esta presión de sobrebalance evita que el gas se filtre a través de la lechada de cemento.

Algún tiempo después de que la lechada ha sido colocada en el espacio anular, esta desarrolla su esfuerzo de gel. La gelificación ayuda al cemento a sostener su peso a sí mismo, reduciendo su capacidad de transmitir presión hidrostática a la zona de gas. Cuando ocurre una gelificación el cemento pierde filtrado hacia las zonas permeables de la formación, causando una pérdida en la presión de sobrebalance, permitiendo con esto que el gas entre al anular y migra a través del cemento gelificado como se ve en la figura 11.

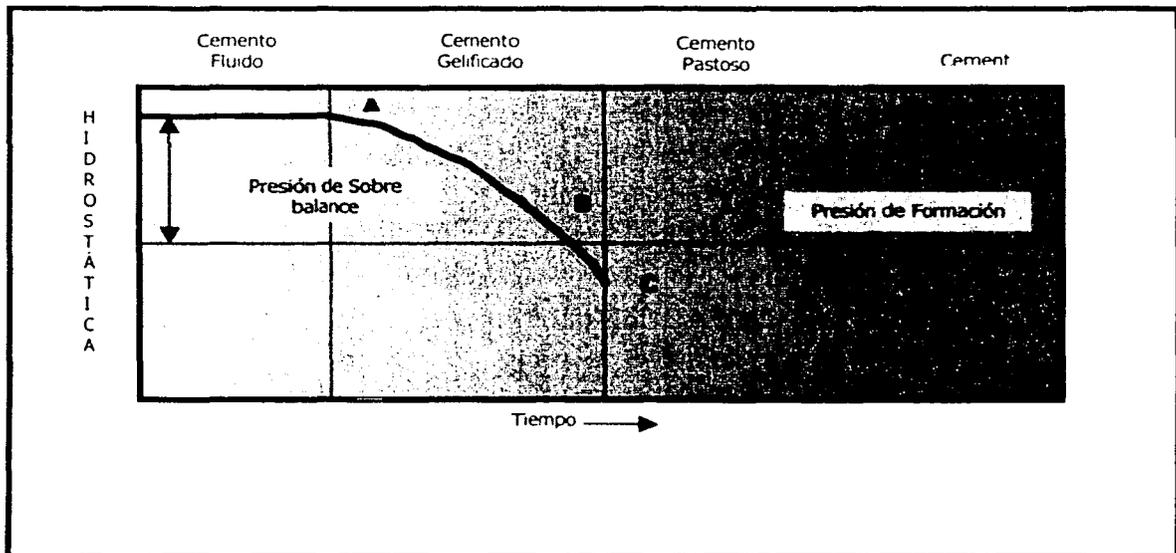


Figura 11 Pérdida de la Presión Hidrostática

Si el gas comienza a migrar, este continuará filtrándose a una velocidad proporcional a la reducción del volumen que ocurre en la lechada hasta que el cemento ha desarrollado suficiente esfuerzo del gel para prevenir futuras filtraciones. Como se puede observar en la siguiente figura 12.

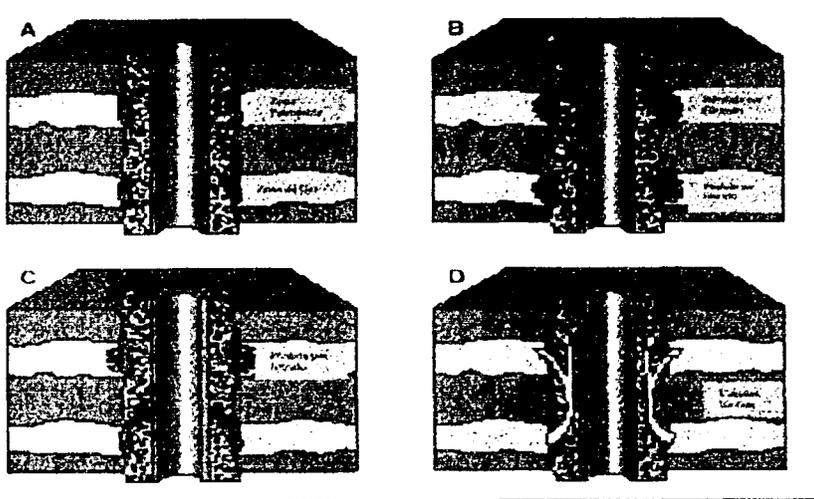


Figura 12 Un gas forma canales bajo las siguientes condiciones:

- A.- Inicialmente después de que el cemento ha sido colocado, la lechada se comporta como un fluido y transmite presión hidrostática.
- B.- El esfuerzo estático del gel comienza a desarrollarse; mientras tanto la lechada pierde líquido hacia las formaciones permeables causando reducción de volumen.
- C.- El esfuerzo de gel estático en la lechada reduce la transmisión de la presión hidrostática simultáneamente como ocurre en la pérdida de volumen. Juntos estos factores causan pérdidas de presión de sobre-balance, permitiendo que el gas entre y se filtre a través del cemento no fraguado.
- D.- La filtración del gas induce de la formación de discretos canales a través del cemento no fraguado. El gas puede crear canales en zonas de baja presión o regresar a la superficie. Una vez formados.

## Esfuerzo Estático de Gel

En un verdadero sistema fluido, la presión hidrostática esta presente. La pérdida de la transmisión de presión hidrostática, es directamente proporcional al nivel de esfuerzo estático de gel desarrollado, que es una propiedad física dinámica y progresiva. La longitud y el diámetro de la columna de cemento también afectan la pérdida de presión hidrostática. La relación entre la restricción máxima de presión esperada y el desarrollo del Esfuerzo Estático de Gel pueden ser expresados a través de la siguiente ecuación.

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

Donde:

MPR = Restricción máxima de presión ( psi ), teórica

SGS = Esfuerzo estático de gel, lb/100 pies<sup>2</sup>

300= Factor de conversión, ( para obtener MPR en psi ), lb/slug

L = Longitud de la columna de cemento, pies.

D = Diámetro efectivo de la columna de cemento, pulg.  
( diámetro del agujero menos diámetro de tubería )

En este caso, la restricción máxima de presión es un cambio en presión hidrostática que resulta de el desarrollo del esfuerzo estático de gel.

No todos los Esfuerzos Estáticos de Gel tienen un mal desarrollo. Un cierto número de lechadas desarrollan un Esfuerzo Estático de Gel que pueden prevenir la filtración de gas a través de la matriz de una columna de cemento no consolidado; sin embargo los resultados de pruebas de laboratorio y de campo han demostrado que el valor de 500 lb/pie<sup>2</sup>. en SGS, puede prevenir la filtración o canalización del gas a través de la columna de cemento. Por lo tanto, la

migración del gas no ocurrirá si la presión hidrostática es mayor que la presión fluuyente de la formación cuando el cemento alcance 500 lb/pie<sup>2</sup> de esfuerzo estático de gel.

Si la presión hidrostática cae por debajo de la presión de formación antes que se desarrolle el SGS, el gas iniciará a filtrarse a través de la matriz de cemento no fraguado, formando un canal. Una vez que un flujo ha desarrollado un canal, no existe nivel alguno de SGS que pueda sellar dicho canal. El canal es permanente y podrá ser removido únicamente por medio de una cementación forzada.

### **Potencial de Flujo de Gas**

El factor de potencial de flujo de gas es usado para determinar el más efectivo cementante para controlar la migración de gas. El sistema deberá producir un efectivo control al menor costo. La siguiente ecuación, presenta el factor del potencial de flujo de gas.

$$\text{GFP} = \text{MPR} / \text{OBP}$$

Donde:

**GFP = Factor Potencial de Flujo de Gas**

**MPR = 1.67 LD ( máxima pérdida de presión posible para un valor de esfuerzo de gel de 500 lb / 100 pie<sup>2</sup>), en psi.**

**OBP = Presión de sobrebalance ( presión hidrostática menos la presión de la formación ), psi.**

GFP es un número adimensional que indica la severidad o potencial estimados para encontrar el valor de la migración de gas. Esta ecuación usa un valor de Esfuerzo Estático de Gel de 500 lb / 100 pie<sup>2</sup>, dado que con este valor de esfuerzo estático de gel de una lechada no permite la filtración de gas.

### **Sistema de Control de migración de Gas**

Mediante la utilización de un programa de computo, nos permite calcular de manera muy efectiva el factor de potencial de flujo de gas, en un pozo. Con este dato, es posible reducir el flujo potencial de gas y optimizar el costo de la lechada.

### **Condiciones para un Potencial Menor de Flujo de Gas**

Cuando la probabilidad de que el potencial de flujo de gas indica que es o será bajo, es posible conseguir un control de la migración de gas sin necesidad del uso de algún aditivo especial para controlar casos moderados o severos. Cualquier aditivo que pueda controlar casos en condiciones extremas, puede resultar exitoso para regular situaciones de potenciales bajos. Por lo tanto, el flujo de gas se puede controlar de una manera efectiva y económica sin hacer uso de tecnología muy complicada. Una condición de flujo menor puede ser controlada con el uso de aditivos para reducir la pérdida de filtrado en la lechada. El control de pérdida de fluido para estas condiciones; se recomienda éste en el rango de 50 a 100 cc / 30 min.

### **Condiciones para un Potencial de Flujo Moderado de Gas**

Si el pozo tiene un potencial moderado de flujo de gas, se requerirá un excelente control de pérdida por filtrado,. Aunque el valor de pérdida por filtrado recomendado en estos casos decrece con el incremento del potencial de incremento de flujo de gas, una práctica común en lechadas de cemento para pozos de alta temperatura, es incluir aditivos para control de filtrado y así conseguir un valor de filtrado tan bajo como 25 cc / 30 min. En adición para prevenir la migración de gas, este diseño deberá ser completamente con aditivos ( tal como un controlador de gas ) que dilata el desarrollo del esfuerzo de gel. Esta propiedad permite que la lechada de cemento transmita la presión hidrostática mucho más allá que en un diseño convencional. Para este tiempo el cemento comenzará a gelificar, y la velocidad de filtrado hacia la formación será mucho más baja.

### **Condiciones para un Potencial de Flujo Severo de Gas**

Para condicione severas de gas en pozos con alta temperatura, aditivos para controlar la pérdida por filtrado, modificación de trabajo, o agentes gelificantes dilatantes solos no pueden reducir suficientemente el flujo potencial. Cementos altamente compresibles con controlador de gas, pueden ser usados para resolver condiciones severas de flujo de gas. En estos sistemas de cemento, burbujas de gas son generadas por reacción química y son efectivamente dispersadas a través de la columna de cemento. Esta acción crea un sistema de cemento altamente compresible que puede compensar por volumen el decremento causado por la pérdida de filtrado, así como la reducción de volumen por hidratación del cemento.

## **Tiempo de Transición**

Las lechadas de cemento experimentan una fase de transformación de líquido a sólido después que han sido colocadas. Durante esta transformación, el cemento no se comporta ni como un fluido ni como un sólido, pero retiene algunas propiedades de ambos estados, es esta etapa, el Esfuerzo Estático de Gel de la lechada de cemento seguramente se incrementa. El esfuerzo de gel es el resultado del inicio de la hidratación del cemento. El punto en el que la lechada pierda capacidad para transmitir total presión hidrostática, es conocido como el inicio del tiempo de transición.

Estos procesos de gelificación pueden ser reversibles. Si una suficiente fuerza de presión de bombeo es aplicada al cemento, este regresará a su estado original de fluido capaz de transmitir presión. Si se permite que la lechada permanezca estática, está se pondrá tan rígida que el esfuerzo es conocido como el fin del tiempo de transición.

## **Reducción en el volumen en la lechada**

Una reducción en el volumen de la lechada de cemento puede causar pérdida en la presión hidrostática. La presión hidrostática permanece constante en un verdadero sistema fluido en el que no haya pérdida de volumen. Cualquier pérdida del fluido del sistema de fluidos durante el periodo de transición causa una correspondiente pérdida de presión hidrostática. Esta pérdida de presión puede ser sustancialmente suficiente para causar una completa pérdida de presión sobre-balance. Los aditivos para control de filtrado, limpian la velocidad y volumen de fluido perdido en una lechada de cemento y en consecuencia limitando la pérdida de presión hidrostática causa de la reducción en el volumen de lechada.

## **Migración de Gas de Largo Tiempo**

La migración de gas a largo tiempo ocurre tiempo después de que la operación de cemento fue concluida y considerada exitosa. Como la migración de gas a corto tiempo, el mejor método de eliminar la migración de gas a largo tiempo es la realización de una cementación forzada. Por lo tanto la lechada de cemento deberá ser diseñada cuidadosamente, planear el trabajo, usar aditivos específicos – parcialmente aditivos de expansión – pueden ayudar a prevenir la migración de gas a largo tiempo.

La migración de gas a largo tiempo está generalmente identificada como un flujo de gas hasta la superficie a través del anular, algunas veces tan rápido como unas pocas semanas después de que el cemento ha sido colocado. Los flujos de gas van desde ligeros hasta moderados y se hacen mas severos con el tiempo.

## **Causas de la Migración de Gas a Largo Tiempo**

Hay dos probables causas de una migración de gas a largo tiempo: un inadecuado desplazamiento del fluido de perforación, y una mala adherencia, tanto entre el cemento y la tubería, como entre el cemento y la formación. Un desplazamiento incompleto o filtrado excesivo con formación de enjarre, también pueden crear canales de fluido de cemento. A medida que el tiempo pasa, el fluido de perforación y el enjarre se deshidratan y se encogen debido al flujo de gas, resultando un camino altamente permeable para la migración del gas.

La segunda causa es que la separación del cemento de la TR cambia después de que el cemento ha fraguado, debido a los cambios de presión y temperatura durante trabajos posteriores a la cementación. Al final, el resultado de la migración de gas a largo tiempo ocurre a través de una discontinuidad en la columna de cemento, propiciada por: canales de microflujo en el fluido de perforación, o a través de micro-ánulos entre la tubería y el cemento o entre el cemento y la formación.

Cuando el gas está fluyendo a través de los canales que formaron los fluidos de perforación y del enjarre filtrado, él volumen de flujo puede usualmente ser esperado para incrementar la

deshidratación del fluido y encogimiento.. El cemento experimenta naturalmente una reducción menor del volumen durante el proceso de fraguado. La magnitud de la reducción en este volumen, incrementa notablemente la pérdida por filtrado de la lechada de cemento. Por esta razón, los valores de pérdida de fluido deben de ser bajos pero a niveles reales para prevenir una excesiva reducción de volumen.

### **Solución para Migración de Gas a Largo Plazo**

La Migración de Gas a Largo Tiempo puede ser prevenido mediante los siguientes métodos:

Focalizandose sobre el mejoramiento en el desplazamiento de los fluidos de perforación, y o usando cementos con características expansivas.

Un mejoramiento en el desplazamiento en la eficiencia del desplazamiento del lodo, nos ayuda a detener la migración de gas.

El acondicionamiento de lodo de perforación, centralización de la tubería y la aplicación correcta de espaciadores y lavadores nos ofrecerá mejor eficiencia en el desplazamiento.

El uso de escariadores para limpiar la pared de la formación, y un alto gasto de bombeo son también una opción.

Si se tiene la certidumbre de que una migración a largo tiempo va a ocurrir aún después de usar los métodos antes mencionados, entonces el uso de un cemento expansivo puede ayudar a corregir las condiciones que causan este tipo de migración.

Los cementos expansivos han sido exitosamente usados en operaciones de campos petroleros, para obtener mejor adherencia del cemento hacia la formación y hacia la tubería, lo que permite ayudar a controlar el flujo anular, reduce la relación agua /aceite, e incrementa la vida de la TR minimizando la corrosión generada por las salmueras del pozo.

Los dos tipos de cementos generales expansivos son: expansión del estado o plástico, que ocurre antes de que el cemento complete su fraguado inicial, y la expansión química que ocurre después del fraguado inicial. El aditivo para la expansión plástica, es una mezcla que

provee al cemento una expansión mediante la generación de una reacción química que dispersión gaseosa a través de la matriz del cemento antes de que este fragüe. Recientemente se ha desarrollado un aditivo químico de expansión, que puede ser usado a temperaturas altas. Este producto ha sido usado para obtener expansión para mejorar la adherencia y alcanzar un control efectivo de la migración de gas. El éxito de la efectividad del aditivo, está en la capacidad para reacciones después de que el cemento se hidrata para iniciar el crecimiento de material cristalino. Esta propiedad, en sí, provee una expansión mientras que la matriz del cemento se forma y crecen cristales. Esta propiedad da al cemento la capacidad para sellar micro-ánulos, justo después que el cemento ha fraguado, el fenómeno de la expansión química puede continuar ocurriendo meses después de su colocación.

### **Analizador Múltiple de Lechadas de Cemento**

El Analizador Múltiple de Lechadas de Cemento es un equipo que es utilizado para desarrollar pruebas de consistencia, pruebas de esfuerzo de gel estático. El analizador realiza pruebas a condiciones de temperatura y presión de fondo, para determinar dos importantes características de las lechadas de cemento: tiempo de bombeo y tiempo de transición E una prueba de consistencia, el Analizador, mide la viscosidad de la lechada o consistencia para determinar el tiempo de espaciamento. En el caso de una prueba de Estático de Gel, el parámetro que se mide es el tiempo de transición, que experimenta la lechada luego que ha dejado de ser bombeable.

En ambas pruebas, el analizador trabaja la lechada de cemento expuesta a una serie de parámetros controlados tales como temperatura, agitación y presión para simular las condiciones de fondo del pozo. Durante la prueba, estos parámetros son monitoreados, controlados y grabados para formar una base de datos que nos permite ayudar a predecir el comportamiento de la lechada a condiciones de fondo del pozo.

### **Ventajas del uso del Analizador.**

- a) Determina el tiempo de espesamiento de la lechada.
- b) Determina el tiempo de transición de la lechada de cemento.

- c) Desarrolla lechadas con excelente control de migración de gas.
- d) Cálculo exacto de la concentración del aditivo para control de gas.

## CAPITULO III

### Casos Históricos en México

#### III.1 Antecedentes

Cantarell es el Campo Petrolero más grande de la República Mexicana y está localizado en la Bahía de Campeche figura 13, con una producción de 1.63 MBOPD de fracturas y cavernas naturales de rocas de carbonatos principalmente del Paleoceno y Cretácico. Este campo presenta uno de los problemas más costosos en la perforación de las zonas productoras; que son LAS PERDIDAS DE CIRCULACIÓN DE PARCIALES A TOTALES, representan el mayor reto para la cementación de Tuberías de Producción, para aislar hidráulicamente de manera efectiva las zonas de producción cuyos espesores van desde 150 m hasta 900 m. Hasta ahora, todos los sistemas convencionales de cementación aquí empleados han fracasado.

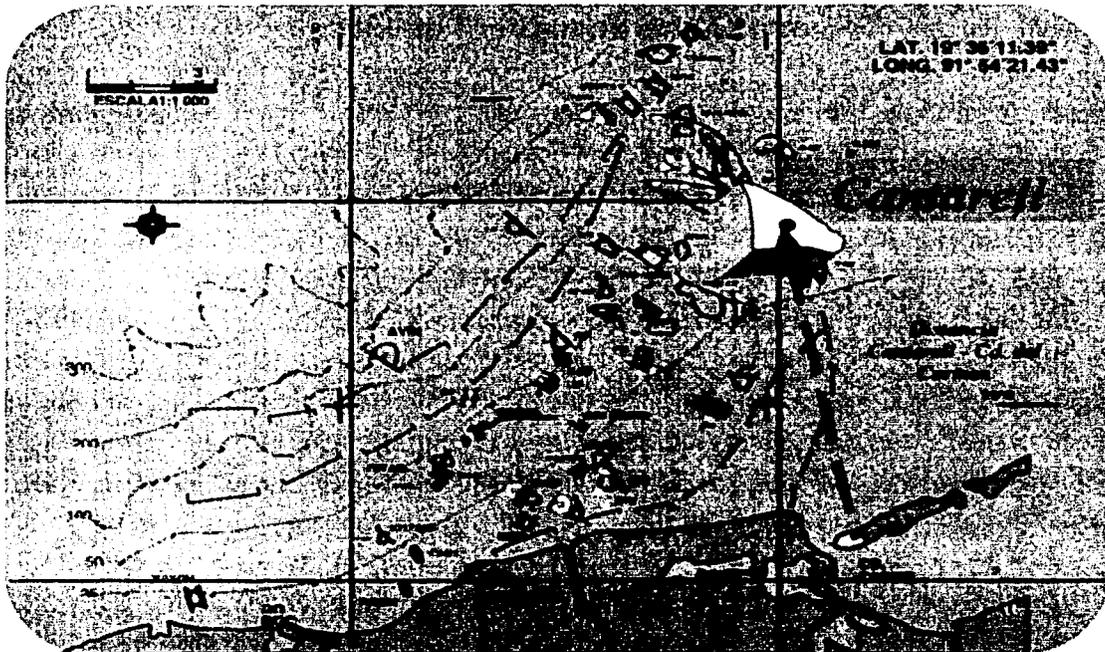


Figura 13 Localización del Campo Cantarell \*

En Cantarell la formación productora Brecha Terciario Paleoceno Cretácico Superior generalmente son carbonatos, está naturalmente fracturada, su permeabilidad varia 3 – 5 darcys y su gradiente de presión de formación es del orden de +/- 0.60 gr/cc (0.26 psi/pie). El nivel estático de fluido se encuentra +/- 1100mv.

Los pozos perforados en la formación Brecha Terciario Paleoceno Cretácico Superior siempre son afectados por severas pérdidas de circulación y asociado cuando se atraviesa el casquete de gas se tiene una problemática adicional: 25,000 ppm de H<sup>2</sup>S.

Durante las operaciones de cementación estas pueden poner en riesgo la integridad del pozo en aquellas zonas en las cuales la presión hidrostática que ejerce la columna de cemento excede el gradiente de poro de la formación o el gradiente de fractura.

La practica de las cementaciones de las T.R.'s en el campo Cantarell de la Región Marina en toda su historia se puede dividir en dos etapas:

La primera comprende de 1976 a 1996: Durante este periodo las cementaciones se efectuaban con pérdida total de circulación y con bombeo continuo de agua de mar por espacio anular. Debido a estas limitaciones era sumamente difícil la colocación del cemento detrás de la TR; se utilizaban sistemas de lechadas de cemento convencionales de 1.60 gr/cm<sup>3</sup> y 1.90 gr/cm<sup>3</sup> con baja resistencia a la compresión, por efecto de los grandes diferenciales de densidad entre el fluido de control y la lechada de cemento; el efecto de vasos comunicantes de los sistemas tiende al descolgamiento y contaminación de los mismos.

De estos trabajos se genero el conocimiento del campo y la recopilación de datos, mismos que posteriormente serían utilizados para la planeación y optimización de las cementaciones.

La segunda etapa abarca de 1996 a 2000 donde se aplican los progresos tecnológicos en los sistemas de cementos ligeros y alta resistencia a la compresión.

Con la aplicación de la tecnología de cementos ultra-ligeros con alta resistencia a la compresión se habrá una solución a la problemática durante las cementaciones de las

Tuberías de Revestimiento en zonas depresionadas y con presencia de gas, principalmente en Zonas Productoras. Como se sabe el Campo Cantarell representa +/- 70% de la Producción Nacional de Hidrocarburos.

Esta tecnología se empezó aplicar en México a principios del año 2001 teniendo resultados satisfactorios.

A continuación hablaremos de los Casos Históricos en donde se aplicó esta tecnología de punta en la cementación de TR en el Campo Cantarell. En los cuales se tuvo un rango de densidad de 0.98 gr/cc a 1.10 gr/cc. y una resistencia a la compresión de 1200 a 2000 psi. entre las primeras 8 y 12 horas.

### III.2 PLATAFORMA AKAL H

#### Datos Generales

**Pozo:** Cantarell 2091

**Trabajo:** LINER 5" @ 2901 m

**Densidad de la Lechada Ultra-Ligera:** 1.10 gr/cc (9.2 ppg)

**Fecha:** Enero 29 del 2001

#### Problema y objetivo

Cuando se perforó la etapa de 5 7/8" del pozo Cantarell 2091 no se tuvieron retornos, perdiéndose un volumen total de 15,300 bls de lodo polimérico de baja densidad de 0.89 gr/cc, a causa de Pérdida Total de Circulación a 2593 m.

Tomando en cuenta el volumen de lodo perdido y los problemas que se habían presentado en operaciones anteriores para la cementación de TR de 5" se decidió la aplicación por primera vez en México de esta nueva tecnología de lechadas de cemento Ultra-Ligeras, con el objetivo de aislar hidráulicamente el intervalo de producción y levantar la columna de cemento en el espacio anular entre el agujero descubierto y la TR lo mas alto posible. Como se puede ver en la figura 14.

#### Detalles de la operación

Operacionalmente, el trabajo fue ejecutado de acuerdo con su diseño. Para registrar y optimizar los parámetros de bombeo se utilizó un simulador La secuencia de fluidos empleados fue: 10 bls de bache lavador de densidad 1.00 gr/cc, 20 bls de bache espaciador de densidad 1.02 gr/cc seguido de 5.7 toneladas de lechada ultra-ligera densidad 1.10 gr/cc

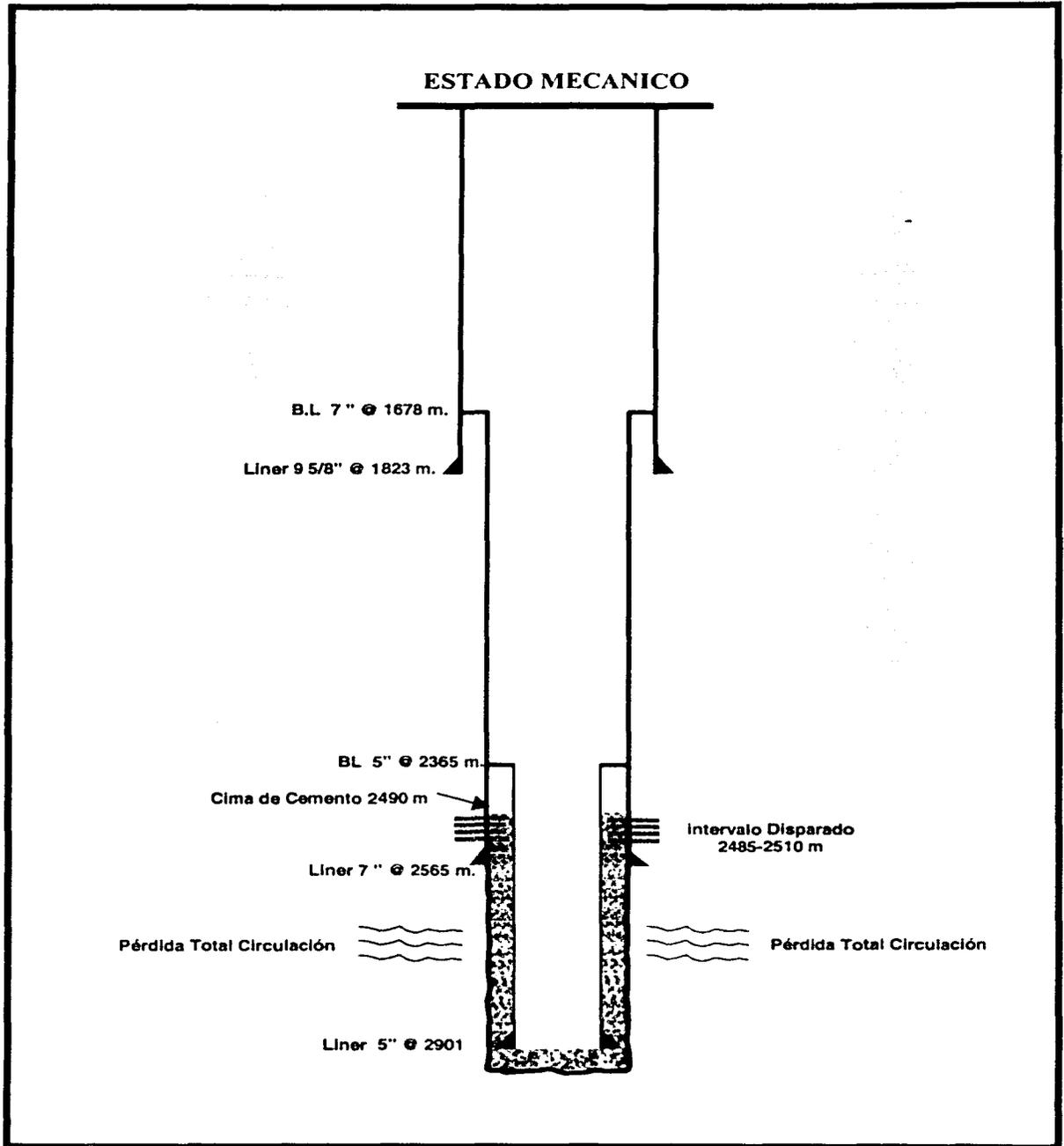


Figura 14 Estado Mecánico Pozo C 2091

## Resistencia a la Compresión

Durante la operación de la cementación se tomó una muestra representativa de la lechada Ultra-Ligera, la cual se analizó y se determinó la resistencia a la compresión como se muestra en la figura 15; observándose el valor máximo de la resistencia a las 12 horas de bombeada la lechada con valor de 1500 psi.

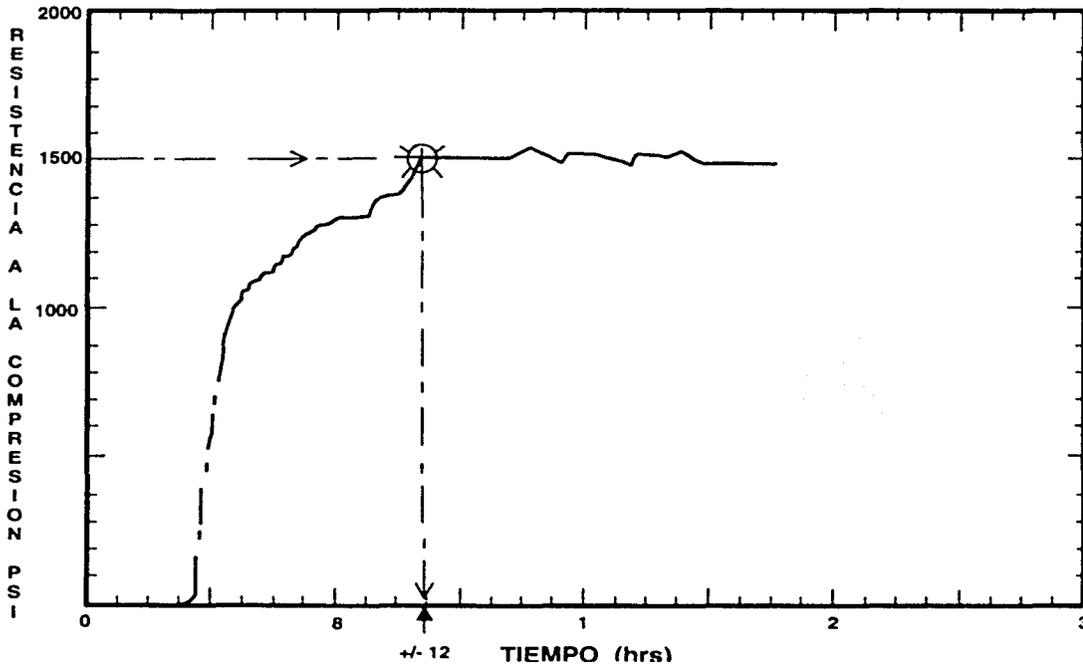


Figura 15 Gráfica de Resistencia a la Compresión Pozo 2091

### **Registro Sónico y de imágenes.**

Aislamiento de la zona productiva Cantarell 2091 la evaluación de la cementación del registro sónico confirmo que el cemento cubrió toda la sección detrás de la TR de 5", como se muestra la figura 17 en el extremo izquierdo y su registro a la derecha. El carril 1 muestra el registro de rayos gamma (verde), los tiempos de transito (azul y rojo) y el localizador de los coples de la TR (negro). La amplitud que se muestra en el carril 3, es relativamente baja por debajo de los 2490 m, lo que confirma la presencia de cemento detrás de la TR. Los datos de densidad variable se indican en el carril 4, con señal de la TR débil o inexistente y respuestas la formación por debajo de los 2490 m, indicando cemento detrás de la TR.

La mayor amplitud y las fuertes respuestas de la TR por encima de los 2490 m demuestra que no hay cemento arriba de los 2490 m.

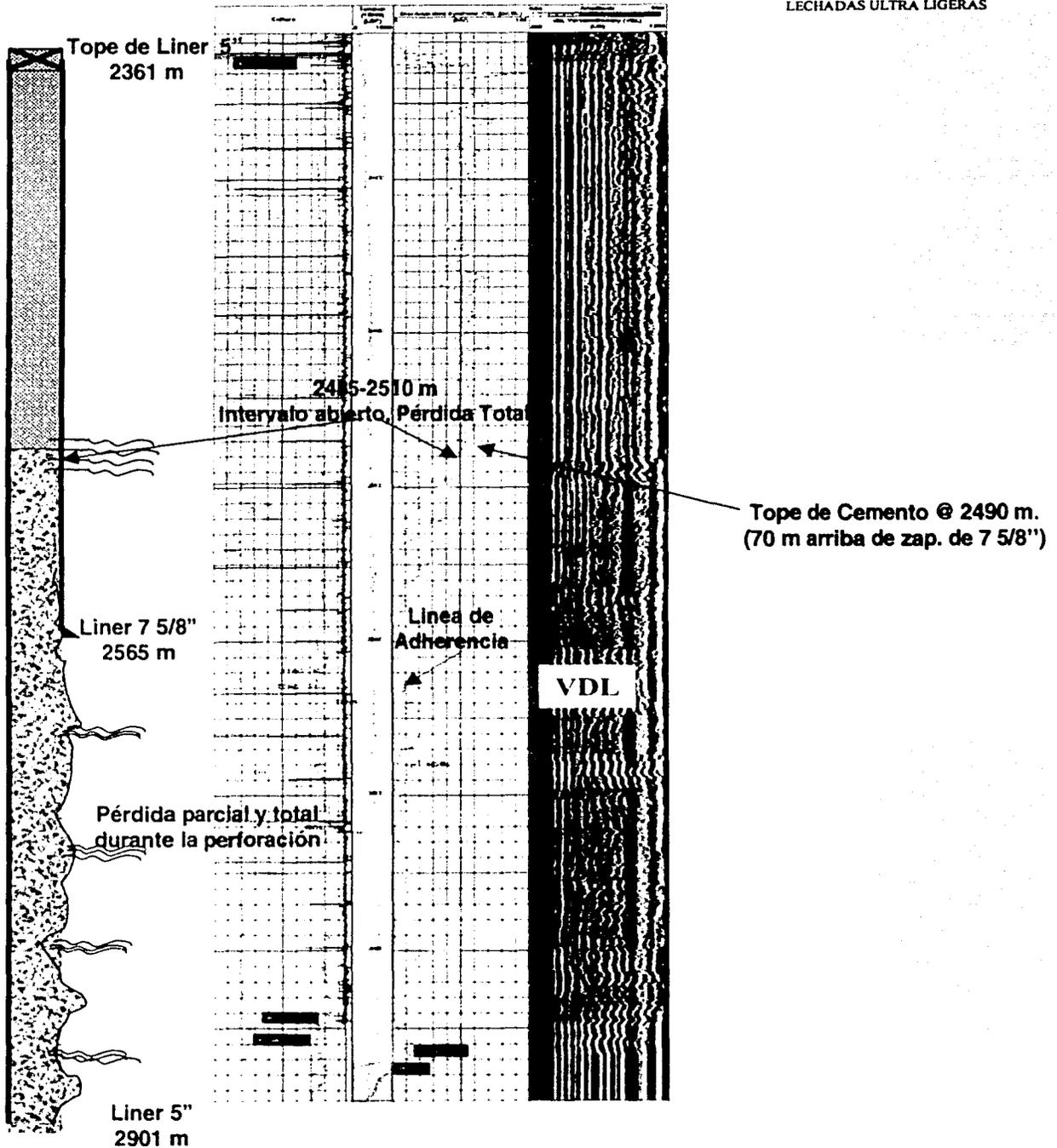


Figura 17. Registro Sónico de la adherencia del cemento del pozo Cantarell 2091<sup>7</sup>

### III.3 Plataforma Akal "DB"

#### Datos Generales

Pozo: Cantarell 53 D

Trabajo: LINER 9 5/8" @ 2868 m

Densidad de la Lechada Ultra-Ligera: 1.10 gr/cc (9.2 ppg)

Fecha: Marzo 24 del 2001

#### Problema y objetivo

Durante la etapa de perforación del Pozo Cantarell 53 D, agujero de 10 5/8" , un volumen total de 7,100 bbl de lodo se perdió en la formación debido a las presencias de zonas de pérdidas parciales y totales a lo largo de los intervalos de 2308 m y hasta de 2870 m, con una razón de 2.5 m<sup>3</sup>/hr.

La densidad del lodo de perforación fue de 0.89 gr/cc

Debido a las condiciones, el objetivo de la cementación fue el de colocar una columna de lechada lo más alto posible, para lo cual se decidió utilizar la lechada Ultra-Ligera con una densidad de 1.10 gr/cc. Como se muestra en la figura 18.

#### Detalles de operación

Para el diseño de la operación, se utilizó el simulador, el cuál permitió determinar los valores volumétricos y valores de gasto de los fluidos óptimos, bombeándose un total de 30 barriles de espaciador y 137 barriles de lechada Ultra-ligera de densidad 1.1 gr/cc a un gasto de 3.5 a un gasto de 3.5 bpm a 300 psi.

La mezcla de la lechada se realizó en forma continua.

Para poder monitorear la densidad de la lechada se utilizó el Sistema de Monitoreo de Fracción Sólida (SMF) y para registrar los parámetros de bombeo utilizó un sistema de adquisición de datos.

Durante la etapa de Cementación se observo circulación parcial de los fluidos, reportándose 75 barriles perdidos.

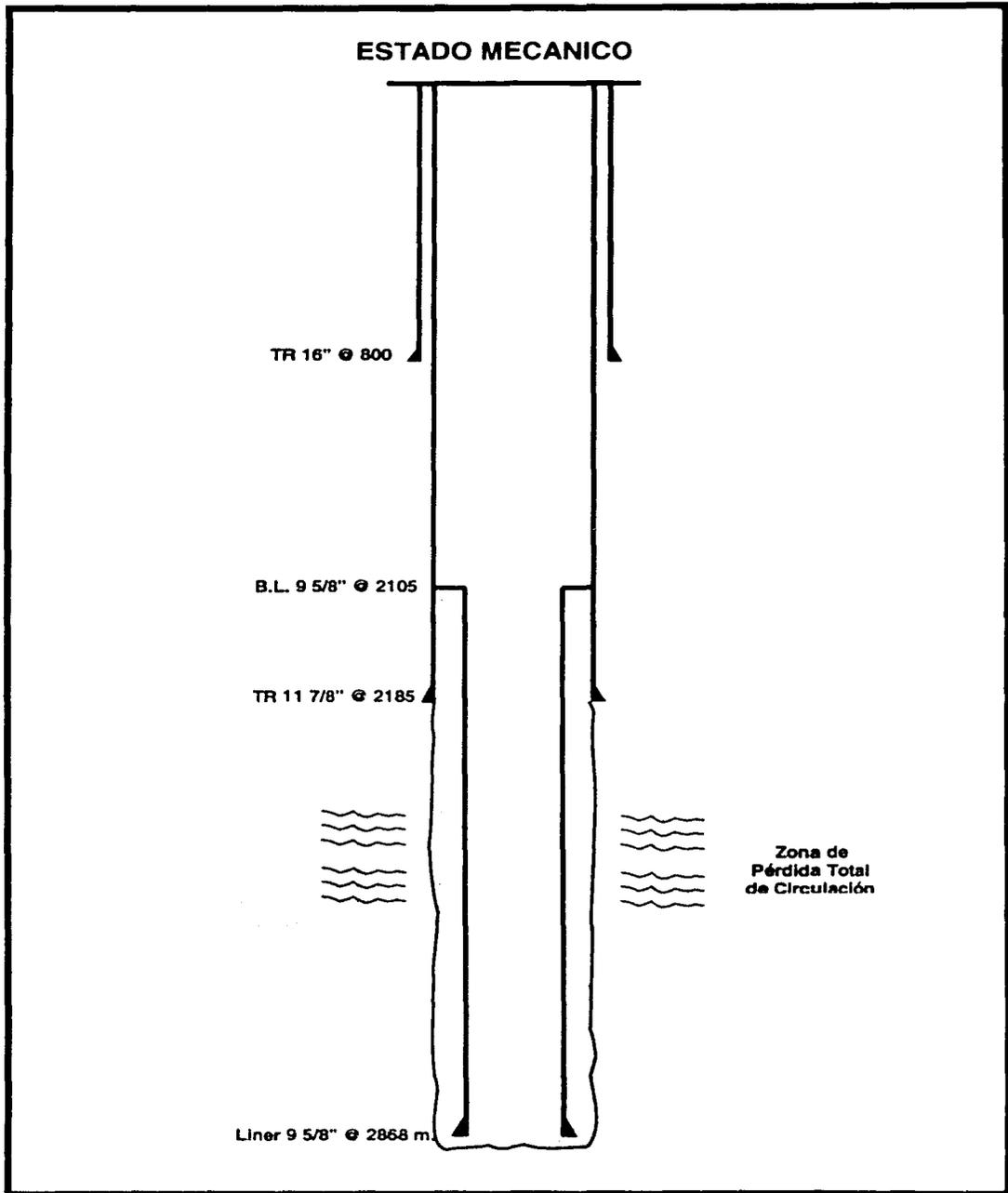


Figura 18 Estado Mecánico Pozo C 53-D

## Resistencia a la compresión

Durante la operación de cementación se tomó una muestra representativa de la lechada Ultra-Ligera, la cual se analizó y se determinó la resistencia a la compresión como se muestra en la figura 19; observándose el valor máximo de la resistencia a las 8 horas de bombeada con un valor de 2000 psi.

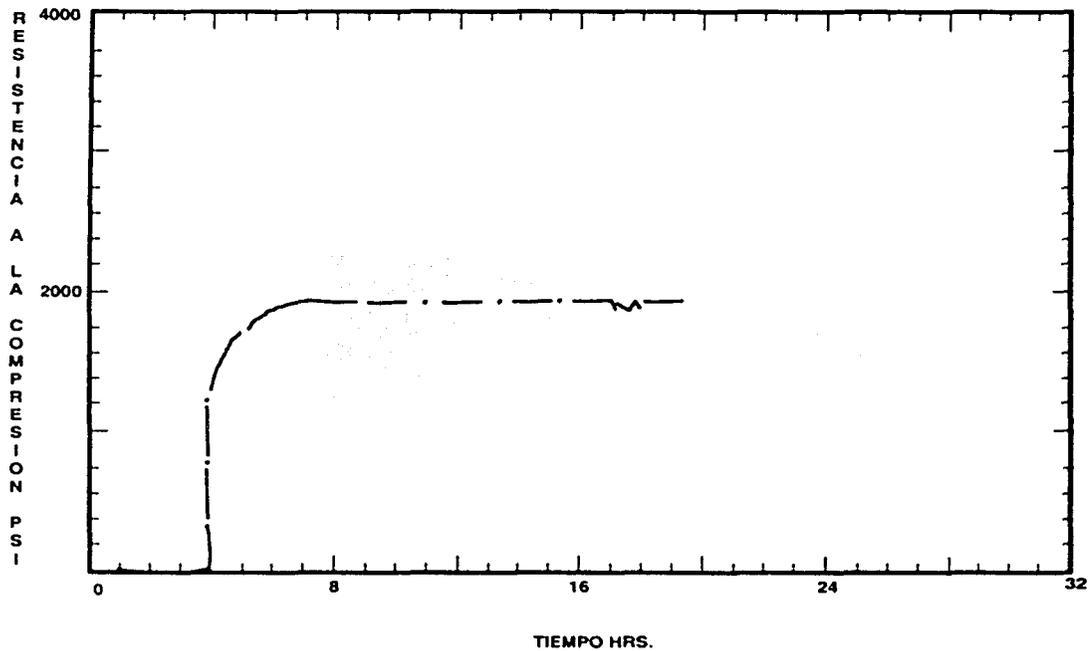


Figura 19 Gráfica de Resistencia a la Compresión  
del Pozo Cantarell 53 D

## Registro Sónico y de imágenes

El objetivo de la cementación primaria fue cubrir con cemento la mayor parte de el espacio anular entre el agujero y el Liner de 9 5/8", el cual se cumplió exitosamente.

Los intervalos a disparar se encuentran por debajo de los 2700 m de profundidad, donde se observa en el registro una calidad de

Aunque con diferentes calidades de adherencia, el cemento alcanzó a cubrir la totalidad del espacio anular, pese a las continuas pérdidas parciales y totales de circulación encontradas durante la perforación y cementación de esta etapa.

El resultado de este trabajo de cementación utilizando el sistema de lechadas Ultra-Ligeras de 1.10 gr/cc, demuestra que es posible lograr el objetivo de colocar el cemento en el espacio anular en zonas de baja presión y altamente fracturadas, lo cual no había sido posible en el campo Cantarell utilizando sistemas lechadas convencionales extendidas.

Del análisis del registro se observa que la adherencia desde el fondo del pozo (2856 m) hasta 2580 m. Oscila entre un 85 y 90%

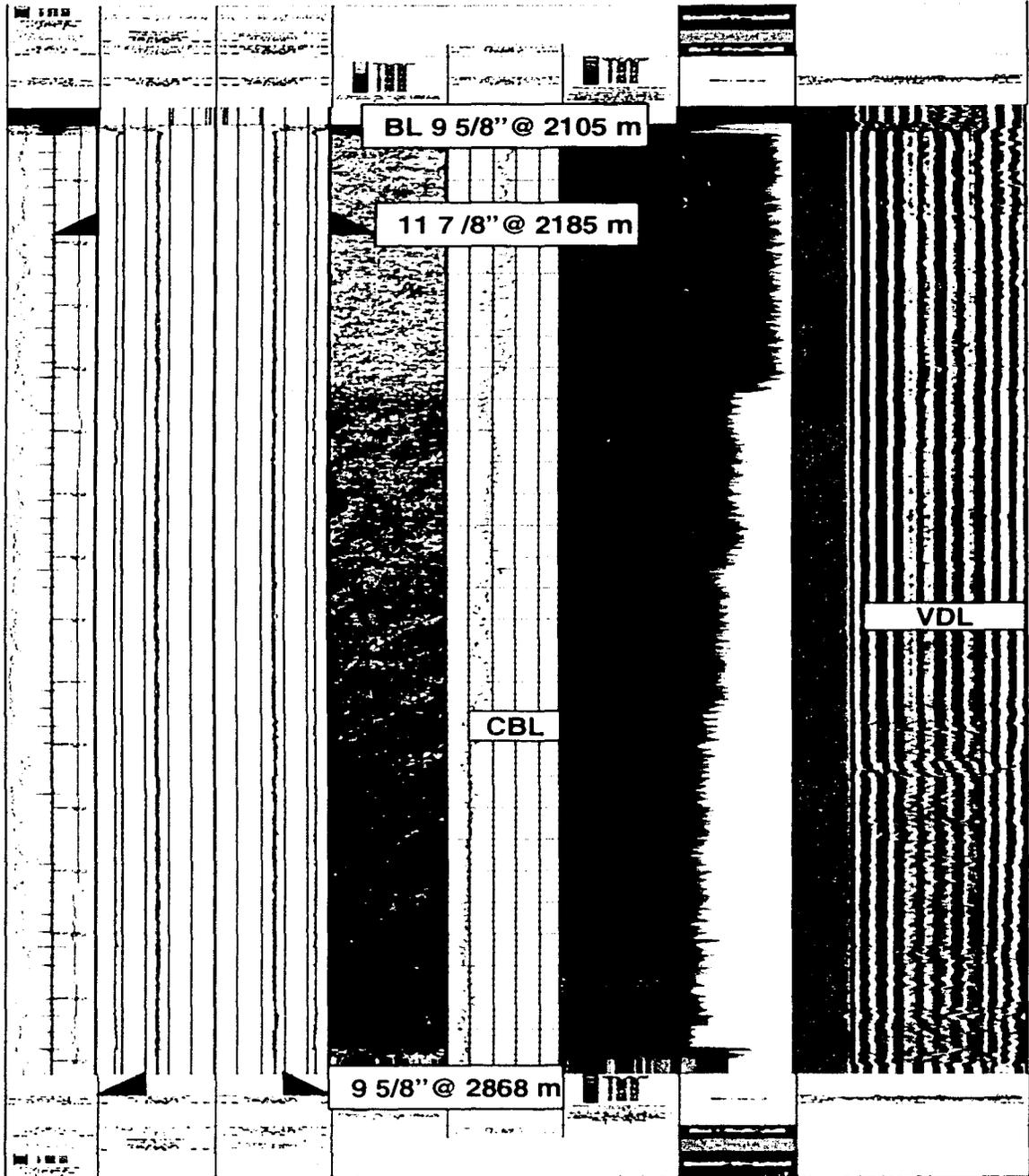


Figura 20 Registro Sónico de la adherencia del cemento  
Del Pozo Cantarell 2091<sup>8</sup>

### **III.4 Plataforma Akal "DB"**

**Pozo:** Cantarell 80

**Trabajo:** LINER 9 5/8" @ 2846 m

**Densidad de la Lechada Ultra-Ligera:** 1.10 gr/cc (9.2 ppg)

**Fecha:** Junio 6 del 2001

#### **Problema y objetivo**

Durante la etapa de perforación del Pozo Cantarell 80 D, etapa 10 5/8", se observaron pérdidas parciales totales a lo largo del intervalo 2128 m. Hasta 2859 m, reportándose al final un volumen 94 992 bbl lo cual indica la magnitud del problema y la condición completamente desfavorable para lograr la cementación de la TR de 9 5/8"

La densidad del lodo de perforación fue de 0.88 gr/cc no logrando el retorno del mismo en ningún momento de la perforación.

## ESTADO MECANICO

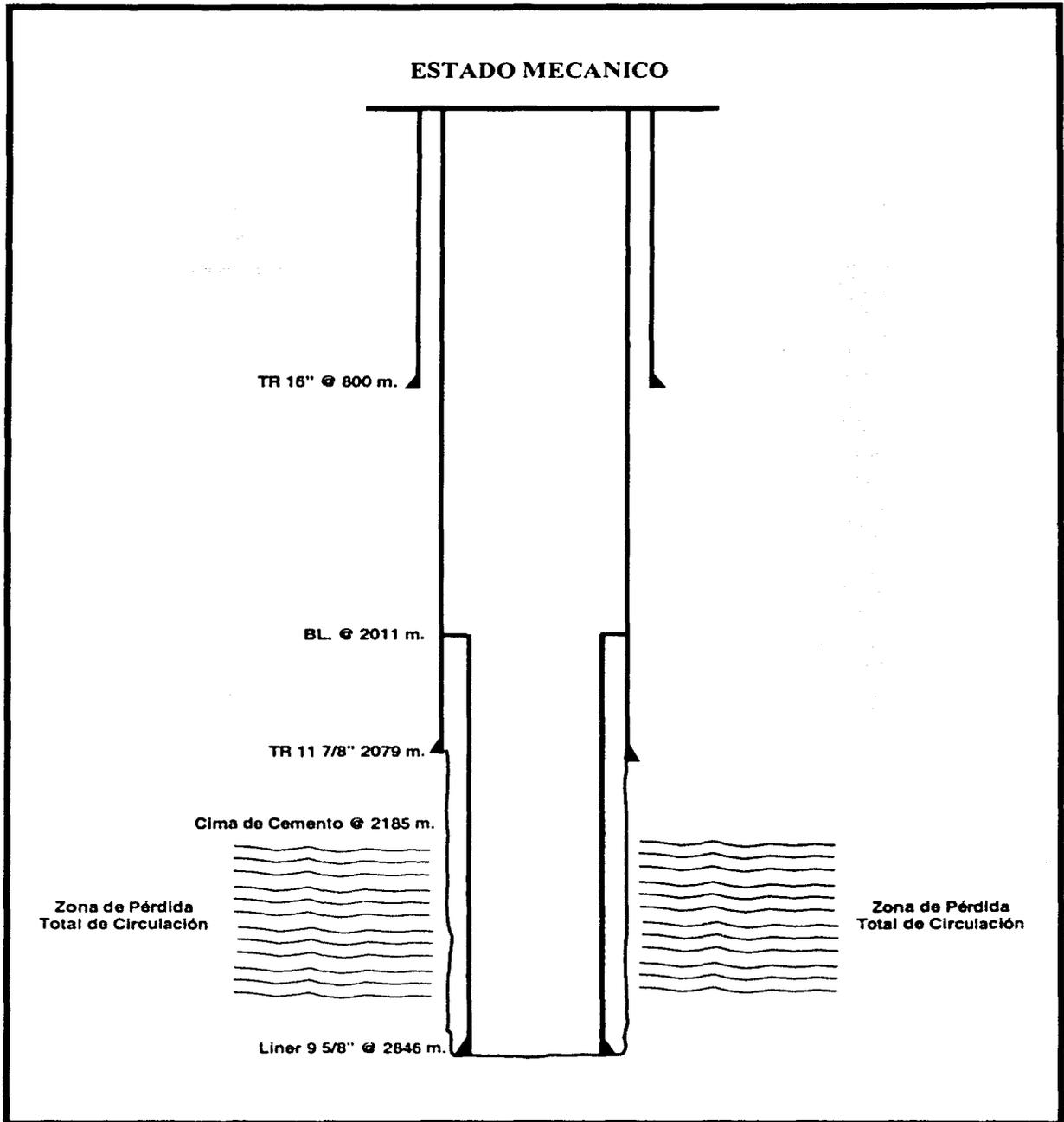


Figura 21 Estado Mecánico Pozo Cantarell 80

## Resistencia a la compresión

Durante la operación de cementación se tomó una muestra representativa de la Lechada Ultra-Ligera, la cual se analizó y se determinó la resistencia a la compresión como se muestra en la figura 15; observándose el valor máximo de la resistencia a las 16 horas de bomeada con un valor de 2000 psi.

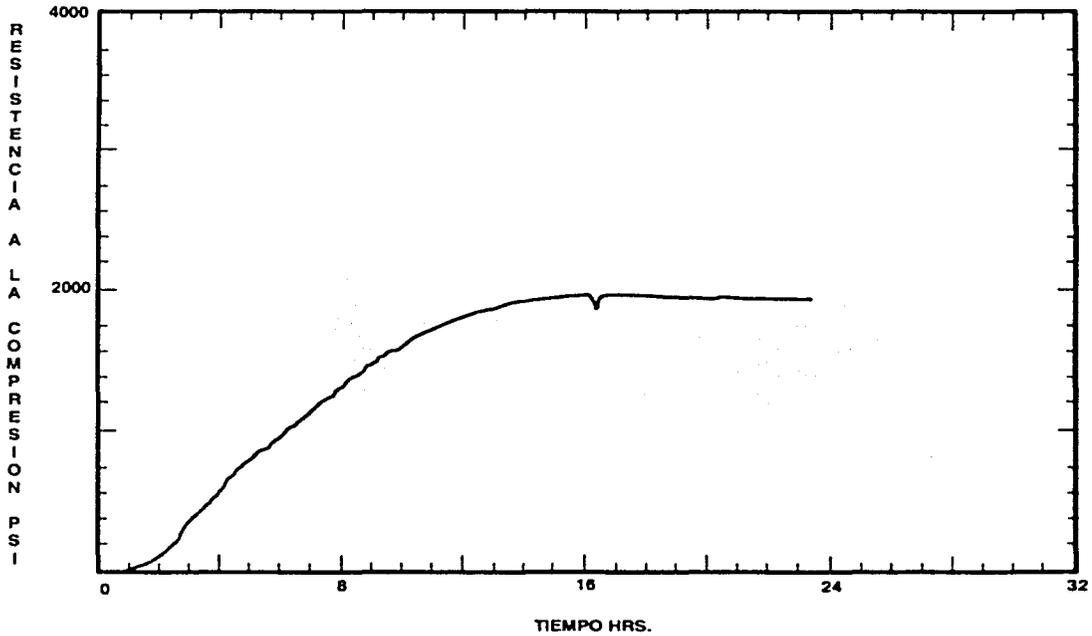


Figura 22 Gráfica de Resistencia a la Compresión del Pozo Cantarell 80

## Registro Sonico

El objetivo de la cementación primaria fue cubrir con cemento la mayor parte de el espacio anular entre el agujero y TR corta. En este caso, no fue cubierto en su totalidad la TR corta de 9 5/8" debido a la severa condición de pérdida total durante la perforación de toda la etapa de 10 5/8" en este pozo.

Sin embargo la lechada Ultra-Ligera con 1.10 gr/cc de densidad logró una longitud de 661 m (2846-2185 m) como se puede observar en la figura x, en una zona donde se conseguia una columna máxima de 350 m. Con lechadas convencionales.

Del análisis de registros se observa que la adherencia desde 2840 m. A 2510 m. Oscila entre un 90 y 95% con excepción del intervalo 2765-2715 m. Donde observa presencia de fluido y una adherencia de 60-70%.

Cabe indicar que la primera zona seleccionada para su explotación es 2750-2700 m, contando por lo tanto con un buen sello hidráulico por encima y por debajo de esta zona.

A pesar de la condición de la pérdida total de circulación, el resultado trabajo con la utilización de la lechada Ultra-Ligera de 1.10 gr/cc es satisfactoria, máxima que no se encontró con un registro de calibración del agujero y que la TR corta no contaba con ningún centralizador teniendo el Pozo una inclinación de 24 grados.

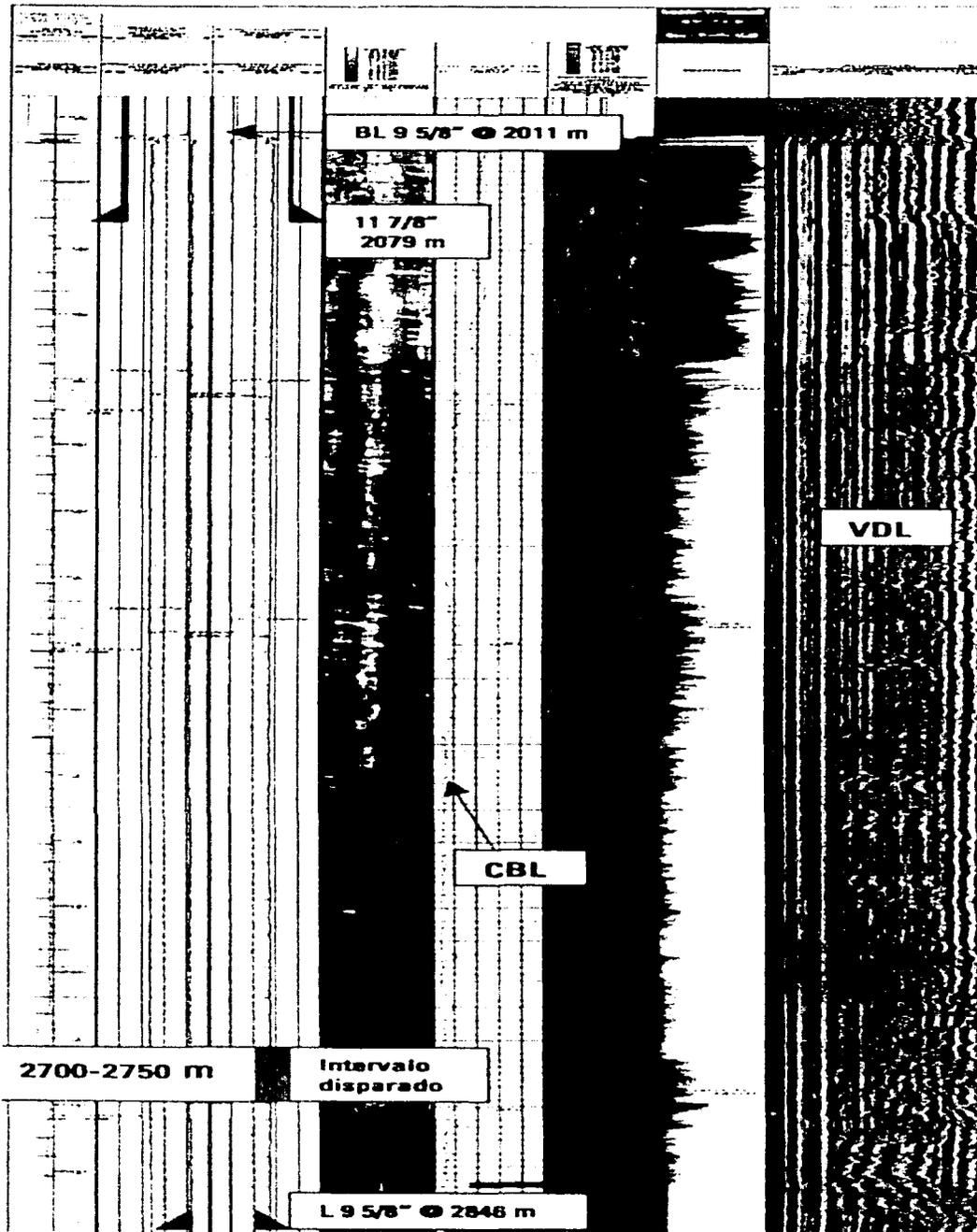


Figura 23 Registro Sónico de la adherencia del cemento Del Pozo Cantarell 80<sup>o</sup>

**DATOS GENERALES**

**POZO:** Cantarell 28

**PLATAFORMA:** AKAL "F"

**TRABAJO:** LINER 5" @ 2733 m

**DENSIDAD DE LECHADA ULTRA-LIGERA:** 0.98 gr/cc

**FECHA:** Noviembre 02 DEL 2001

**PROBLEMA Y OBJETIVO**

Cuando se perforo la etapa de 5 7/8" del pozo Cantarell 28 no se tuvieron retornos, perdiéndose un total de 51 500 barriles de lodo base aceite de densidad 0.90 gr/cc, a causa de pérdidas parciales y totales en la zona de 2208 m a 2410 m.

Tomando encuenta los buenos resultados de cementaciones previas en el área con lechadas Ultra-Ligeras de 1.10 gr/cc, se decidió usar una lechada de densidad 0.98 gr/cc ( menor que el agua ) con el objetivo de aislar hidráulicamente el intervalo de producción ( 2655-2 705 m) y levantar la columna de cemento en el espacio anular entre agujero descubierto y el Liner lo más alto posible.

## DETALLES DE LA OPERACIÓN

Operacionalmente, el trabajo fue ejecutado de acuerdo con su diseño. El simulador fue usado para optimizar el programa de bombeo. La secuencia de fluidos empleados fue: 8 barriles de diesel mas surfactante, 20 barriles de espaciador ( sin densificar ) seguidos de 48 barriles de lechada Ultra-Ligera de 0.98 gr/cc ( resistencia a la compresión 1650 psi @ 14 horas ), gasto de bombeo de 2 a 3 bpm y presión de bombeo de 45 a 120 psi.

Antes de la operación de cementación el nivel de fluido del pozo fue calculado @ 1100 m, estando el resto del pozo vacío.

La mezcla de la lechada fue realizada al vuelo y la tecnología del SFM fue usado para asegurar el contenido de sólido en la lechada y mantener una Fracción Sólida de aproximadamente el 54 %. En el sistema de adquisición de datos se registraron los parámetros de bombeo. El desplazamiento se hizo con lodo de perforación de 0.90 gr/cc, se observó rotura de pernos así como la llegada del tapón al cople de retención. Durante toda esta operación no se observó retorno de fluidos.

## ESTADO MECANICO CANTARELL

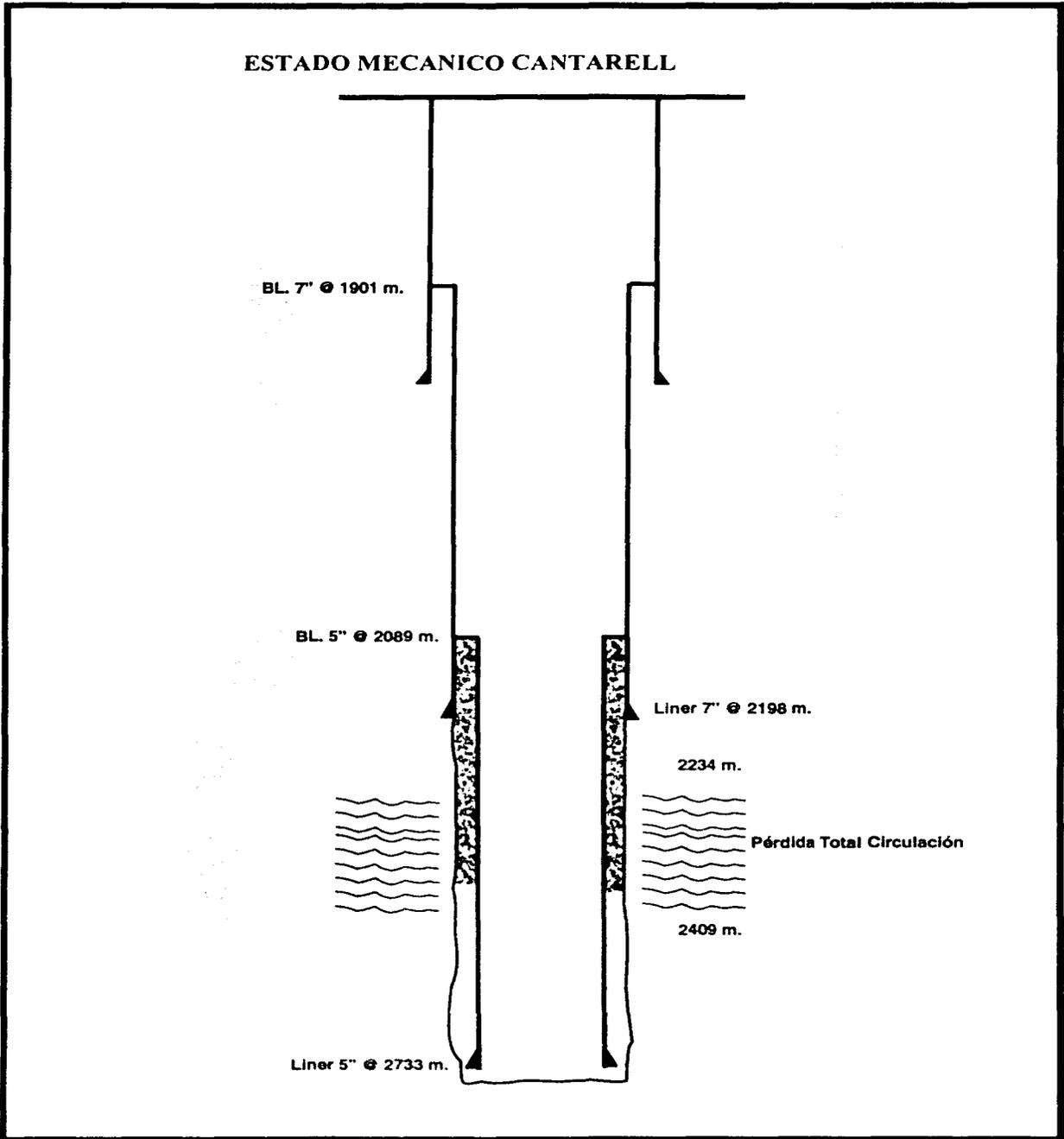


Figura 24 Estado Mecánico Pozo Cantarell 28

## Registro sónico y de imágenes

Después de esperar el fraguado, se detecto cemento @ 2 087 md, 7 m arriba de la Boca de Liner, siendo esta la primera vez que esto sucede en este campo.

Dentro del Liner de 5", el tapón de desplazamiento y el cople de retención fueron rebajados, al igual que cemento compacto desde 2 688 m hasta 2717 m. Se efectuó una prueba de presión @ 1 000 psi durante 30 minutos, como resultado satisfactorio

El pozo tiene una desviación de 16° y es de diámetro reducido 5 7/8"-; no se emplearon centralizadores.

El intervalo a producir va de 2 655 a 2 705 m, aquí el CBT/USIT muestra un buen índice de adherencia que oscila entre 80 y 90 %, lo que asegura un buen aislamiento hidráulico. El mejor índice de adherencia se encuentra desde 2 405 m hasta la zapata de 5". Es importante resaltar que durante la perforación la zona de pérdida total de circulación fue de 2 234 a 2 409 m.

La zona de 2 213 m a 2405 m muestra cemento con un índice de adherencia que varía de 25 % a 50 % y microanillo. La zona entre la Boca de Liner de 5" y la zapata de 7" muestran menor presencia de cemento ( 5 % a 20 % ).

A pesar de las diferentes calidades de cemento que fueron encontradas a lo largo del espacio anular, el cemento llegó hasta 7 m arriba de la Boca de Liner, abriendo así la posibilidad de mejorar estos resultados optimizando las condiciones mecánicas del pozo ( centralizando el Liner ).

La efectividad de las lechadas Ultra-Ligeras con alto contenido de sólidos, gran resistencia y bajas permeabilidades después de fraguado, ha quedado demostrada.

## Resistencia a la compresión

Durante la operación de cementación se tomó una muestra representativa de la Lechada Ultra-Ligera, la cual se analizó y se determinó la resistencia a la compresión como se muestra en la figura 15; observándose el valor máximo de la resistencia a las 16 horas de bomeada con un valor de 2000 psi.

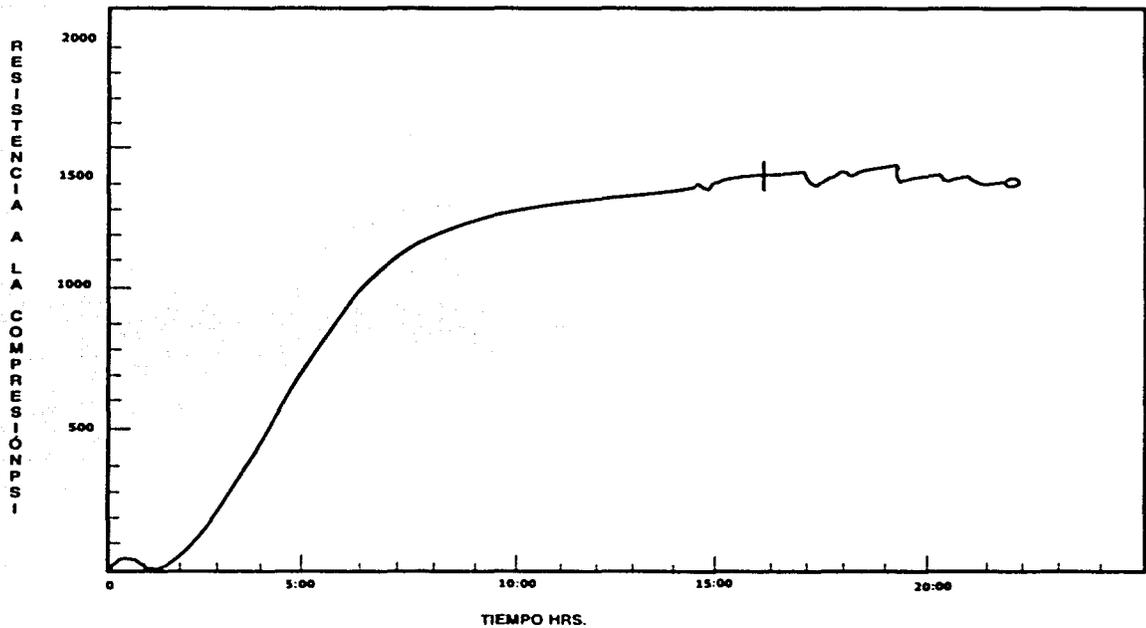


Figura 25 Gráfica de Resistencia a la Compresión del Pozo Cantarell 28

## Registro sónico y de imágenes

Después de esperar el fraguado, se detecto cemento @ 2 087 md, 7 m arriba de la Boca de Liner, siendo esta la primera vez que esto sucede en este campo.

Dentro del Liner de 5", el tapón de desplazamiento y el cople de retención fueron rebajados, al igual que cemento compacto desde 2 688 m hasta 2717 m. Se efectuó una prueba de presión @ 1 000 psi durante 30 minutos, como resultado satisfactorio

El pozo tiene una desviación de 16° y es de diámetro reducido 5 7/8"-; no se emplearon centralizadores.

El intervalo a producir va de 2 655 a 2 705 m, aquí el CBT/USIT muestra un buen índice de adherencia que oscila entre 80 y 90 %, lo que asegura un buen aislamiento hidráulico. El mejor índice de adherencia se encuentra desde 2 405 m hasta la zapata de 5". Es importante resaltar que durante la perforación la zona de pérdida total de circulación fue de 2 234 a 2 409 m.

La zona de 2 213 m a 2405 m muestra cemento con un índice de adherencia que varía de 25 % a 50 % y microanillo. La zona entre la Boca de Liner de 5" y la zapata de 7" muestran menor presencia de cemento ( 5 % a 20 % ).

A pesar de las diferentes calidades de cemento que fueron encontradas a lo largo del espacio anular, el cemento llegó hasta 7 m arriba de la Boca de Liner, abriendo así la posibilidad de mejorar estos resultados optimizando las condiciones mecánicas del pozo ( centralizando el Liner ).

La efectividad de las lechadas Ultra-Ligeras con alto contenido de sólidos, gran resistencia y bajas permeabilidades después de fraguado, ha quedado demostrada.

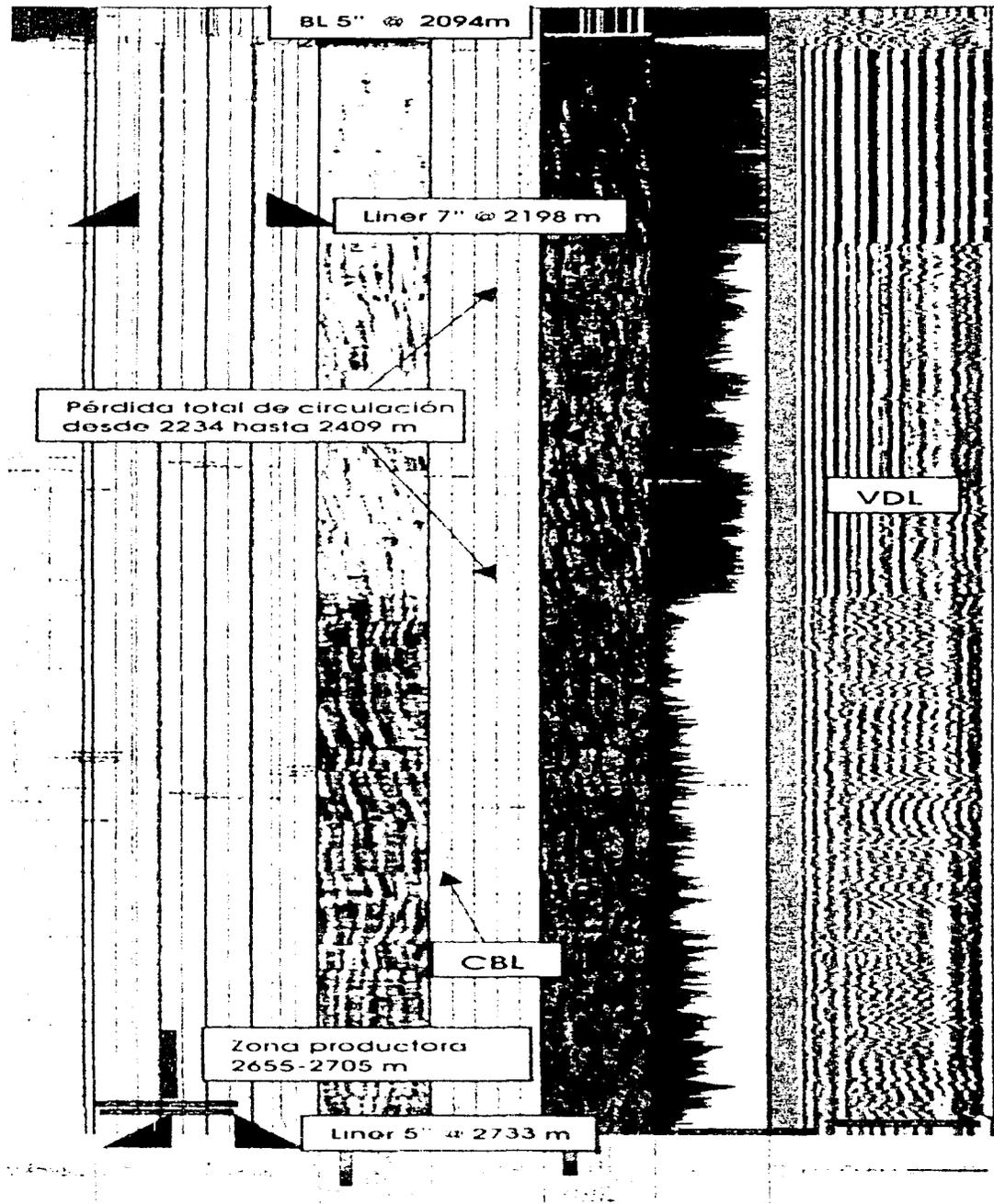


Figura 26 Registro Sonico de la adherencia del cemento  
Del Pozo Cantarell 28<sup>10</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO IV

### Análisis Económico

La aplicación de nuevas tecnologías generalmente evolucionan los procesos técnicos consiguiéndose reducciones en los costos operativos, tanto de tiempo de equipo empleado, como requerimiento de materiales. En otros casos el producto resultante de la aplicación de la nueva tecnología reúne características mejoradas que no se logra obtener con las tecnologías convencionales, como es el caso de la cementación de tuberías de revestimiento a través de zonas de baja presión y formaciones depresionadas, para lo cual se considera de gran utilidad la aplicación de las lechadas Ultra-Ligeras.

Se llevo a cabo el análisis de costo entre una lechada Convencional y una lechada Ultra-Ligera en la cementación de un Liner de 5" a 2666 m en la formación en donde se presentó Pérdida Total de Circulación .

### IV.1 Costos de Operación con una Lechada Convencional

SISTEMA CONVENCIONAL	
SISTEMA CONVENCIONAL DE 1.60 GR/CC	
Volumen de 9.1 m <sup>3</sup> de lechada	
CONCEPTO	COSTO (USD)
Servicio (incluye unidad de alta presión, silos semiestacionarios, trompos, tanque de 75 m <sup>3</sup> equipo de medición, mezclador de baches, pipa para agua	\$ 26,500.00
<b>Total del servicio</b>	<b>\$ 26,500.00</b>

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

<b>Productos químicos</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Lechada (6 Toneladas) rendimiento 75.65 lt/saco	\$ 11,169.00
Bache espaciador 3 m <sup>3</sup> de 1.70 gr/cc	\$ 2,275.00
<b>Total de productos químicos</b>	<b>\$ 13,444.00</b>
<b>Costo total del Sistema convencional</b>	<b>\$ 39,944.00</b>

## IV.2 Costos de Operación con una Lechada Ultra-Ligera

<b>SISTEMA ULTRA-LIGERO</b>	
<b>SISTEMA ULTRA-LIGERO DE 1.10 GR/CC</b>	
Volumen de lechada 9.1 m <sup>3</sup>	
<b>CONCEPTO</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Equipo convencional incluye unidad de lata presión semiestacionarios, trompos, tanque de 75 m <sup>3</sup> equipo de medición, mezclador de baches, pipa para agua, y personal	\$ 26,500.00
<b>Total de servicio</b>	<b>\$ 26,500.00</b>

<b>Productos químicos</b>	
Lechada (7 Toneladas) rendimiento 65.48 lt/saco	\$ 25,241.00
Bache espaciador 3m <sup>3</sup> de 1.25 gr/cc	\$ 2,082.00
<b>Total productos químicos</b>	<b>\$ 27,323.00</b>
<b>Costo total del Sistema UltraLigero</b>	<b>\$ 53,823.00</b>

Aparentemente y tomando en cuenta únicamente los costos de cada servicio. La lechada Ultra-ligera es más costosa, pero cabe mencionar que el éxito en la operación de cementación con una lechada convencional es menor, porque en la mayoría de los casos es necesario llevar a cabo una recementación ( cementación forzada ) . Con esta consideración tenemos:

<b>OPERACIÓN</b>	<b>COSTO</b>
Lechada convencional	\$ 39,944.00
+	
cementación forzada con retenedor de cemento	\$ 70,000.00
+	
tiempo de equipo ( 4 días )	\$ 60,000.00
<b>Sub-total</b>	<b>\$ 169,444.00</b>
<b>Lechada ultra-ligera</b>	<b>\$ 53,823.00</b>
<b>Diferencia</b>	<b>\$ 116,121.00</b>

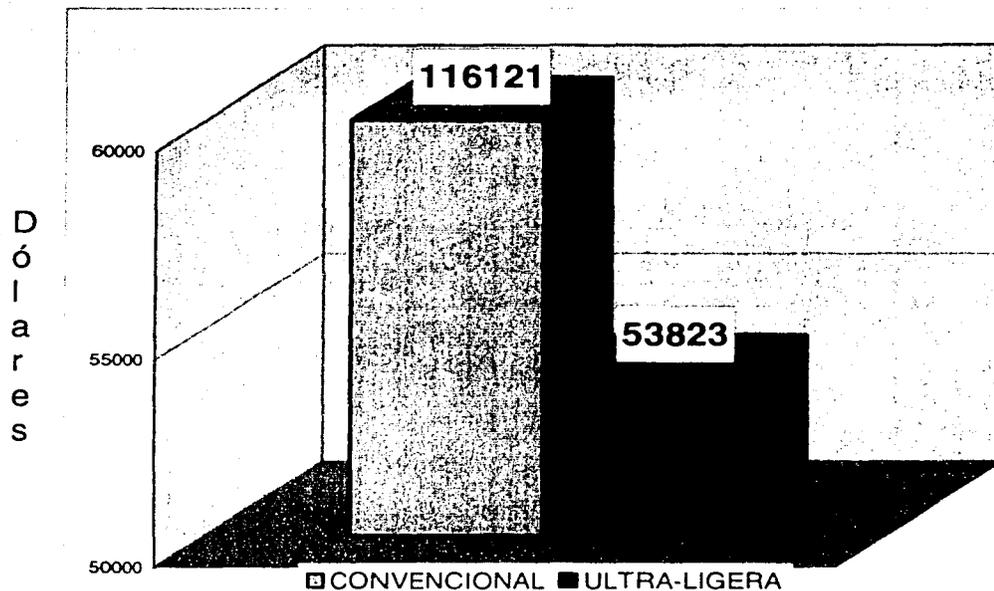


Figura 27 Gráfica comparativa de costos de una lechada convencional y una UltraLigera

Podemos observar que además de los beneficios técnicos el uso de lechadas Ultra-Ligeras. Las operaciones con las lechadas Ultra-Ligeras nos representan un ahorro del +/-50 %.

Además cabe mencionar que en este análisis no se están considerando otros factores de ahorro que se tiene con las lechadas Ultra-Ligeras. Uno de los factores es la terminación del pozo en el tiempo programado. Ya que sino se termina de perforar en el tiempo programado, retrasa la puesta en producción del pozo, reflejándose esto como una pérdida de dinero.

## CONCLUSIONES

Basándose en este trabajo se puede concluir, que los beneficios que se obtienen en la aplicación de esta Nueva Tecnología de Cementos Ultra-Ligeros en comparación con las lechadas convencionales son:

1.- Se tienen mejor adherencia entre la tubería de explotación - cemento y cemento - formación, como la obtención de alturas mayores en la columna de cemento en el traslape de las tuberías de revestimiento obteniendo sellos hidráulicos buenos y de esta forma el no estar superitado al funcionamiento del empacador, el que la tuberías de revestimiento queda mejor protegidas en ambientes corrosivos.

2.- Durante la perforación se reduce el colapso de tuberías de revestimiento

3.- La aplicación de esta nueva tecnología evitará la migración del gas, tener menos daños a la formación durante la cementación como en la estimulación del Pozo, una mejor definición de los intervalos a disparar.

4.- Pero el aspecto más importante es que del análisis económico realizado se observa un ahorro importante empleando dicha tecnología.

## RECOMENDACIONES

- 1.- La aplicación de esta Tecnología de Cemento Ultra-Ligeros en Zonas con Pérdida de Circulación y Casquete de Gas
- 2.- Continuar aplicando la Tecnología de Cemento Ultra-ligero en los Pozos donde el gradiente de fractura sea crítico, eliminando así los costos por operaciones adicionales.
- 3.- La utilización de un Sistema de Monitoreo de la Fracción Sólida nos permitira mantener las propiedades requeridas.

## BIBLIOGRAFIA

1.- Well

Cementing

Erik B. Nelson

2.- Cemento Ultra-Ligero, Schlumberger, Dowell

Technology and Slurry Systems

Decoupling Set Cemen Properties from Slurry Density (June, 1997)

3.- I. Sumarta, Schlumberger, Dowell,

Aplicación de una Nueva Tecnología de Cementos Ultra-Ligeros para mejorar los Trabajos de Cementación en la Sonda de Campeche, Villahermosa, Tabasco, SPE, 1998.

Antonio Martinez R.

4.- Manual de Tecnología de Cementación Halliburton

Cemento de Baja Densidad de Alto Esfuerzo Compresivo

5.- Halliburton

Cementing

Cementos Ligeros (Migración de Gas, Vida del Pozo)

6.- Presentación PEMEX

7.- Informe Cementación (Schlumberger, Dowell) Akal "H" Cantarell 2091

8.- Informe Cementación (Schlumberger, Dowell) Akal "DB" Cantarell 53

9.- Informe Cementación (Schlumberger, Dowell) Akal "DB" Cantarell 80

10.- Informe Cementación (Schlumberger, Dowell) Akal "F" Cantarell 28