

“XII Congreso Latinoamericano de Perforación”

**TECNICA DE CEMENTACIÓN FORZADA Y CONTAMINACIÓN
CONTROLADA CON TUBERÍA CONTINUA EN EL LAGO DE
MARACAIBO**

**José Salas Vilorio
Salvatore Carbone Rodriguez
Angel Hernandez Romero**

**PETROLEOS DE VENEZUELA, S.A.
PDVSA
VENEZUELA**

RESUMEN

Los servicios de Tubería Continua han sido utilizados extensivamente en operaciones de rehabilitación sin taladro en el Lago de Maracaibo debido a la flexibilidad de las operaciones y a los bajos costos que estos representan.

Desde 1998, PDVSA Occidente ha implementado la Técnica de Cementación forzada y controlada con tubería continua para solucionar problemas de producción de fluidos indeseables y reparar cementaciones primarias con el objeto de optimar la producción de petróleo.

La mencionada técnica ofrece notables ventajas al ser comparada con las efectuadas con equipos de rehabilitación, tales como: no requiere recuperar la tubería de producción, permite realizar limpieza de tubulares y lavados con ácidos previo al forzamiento, mantiene control de la profundidad, bombea el cemento a través de la tubería continua y permite la contaminación del cemento excedente en el revestimiento de producción, acondicionando el fondo del pozo evitando así las operaciones de limpieza de cemento fraguado.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos con la aplicación de esta técnica en operaciones realizadas en el Lago Maracaibo. Los anteriores permitieron adquirir pericia en el procedimiento y control de las técnicas de cementación, formulación de lechadas según los problemas del área a cementar, y utilización de herramientas de fondo como localizador de punta de tubería, empacaduras inflables y registros CCL para tubería continua. Como resultados, se obtuvieron incrementos en 3059 BNPD y ahorros de 11 MMU\$ en 12 trabajos. Adicionalmente se presentan dos casos históricos para ilustrar el proceso.

INTRODUCCIÓN

El Lago de Maracaibo se encuentra situado en el extremo occidental de Venezuela y en él se encuentra la mayor actividad petrolera de PDVSA Exploración y Producción. Es una operación costa afuera, la mayoría de los campos son maduros y por lo tanto los costos de trabajos de rehabilitación con taladro bajo esas condiciones tienen un alto impacto en la decisión de reparar o abandonar una determinada zona o pozo. Como consecuencia de la madurez de los campos, uno de los problemas que más afecta la productividad de los pozos es la producción excesiva e indeseable de

agua, incidiendo así directamente en los costos de producción, en las áreas de manejo de fluidos, deshidratación, corrosión, desecho, etc. Del total de agua producida, un alto porcentaje de la misma es consecuencia de una cementación primaria deficiente.

En los últimos años PDVSA ha venido trabajando continuamente en la búsqueda de soluciones a este problema y a su vez en disminuir los costos asociados a las rehabilitaciones con taladro en sitio, utilizando equipos de tubería continua. La cementación forzada utilizando tubería continua es una técnica relativamente nueva¹.

Para 1997 ya se utilizaba la tubería continua en el Lago de Maracaibo realizando operaciones de rehabilitación de pozos tales como limpiezas mecánicas, químicas, pescas, estimulaciones, tapones de cemento balanceados (sin forzar), etc. Fue durante 1998 cuando PDVSA decidió realizar los primeros trabajos de forzamiento de cemento con tubería continua obteniéndose resultados satisfactorios y beneficios para la corporación. A partir de esta fecha se han realizado pruebas en busca de mejorar la técnica ejecutándose las primeras cementaciones forzadas, incluyendo a su vez el proceso de contaminación del cemento y circulación a superficie. La incorporación de productos y equipos especiales han permitido optimizar el proceso.

Recientemente, el uso de cementos microfinos junto con tecnología de control de agua, han permitido ajustar los procesos para garantizar los trabajos exitosos de reparación de cementación primaria y control de agua².

Esto significó el punto de partida de una nueva técnica denominada Técnica de Cementación Forzada y Contaminación Controlada con Tubería Continua, permitiendo realizar reparaciones de cementaciones primarias, aislar intervalos productores de fluidos no deseados, mejorar el perfil de inyección en proyectos de inyección de agua, etc., sin utilizar taladro de rehabilitación.

TECNOLOGÍA PREVIA

Las primeras operaciones de cementación fueron realizadas utilizando el “**Dump Bayler**” como método de colocación del cemento³. Mas tarde, la cementación a través de tubería y revestimiento de producción se hizo común debido a las condiciones individuales del campo o pozos, tales como profundidad y tamaño del hoyo. Estas condiciones requirieron el desarrollo de materiales y herramientas que eventualmente se utilizan en trabajos de cementación⁴.

En un trabajo de cementación forzada convencional, es necesario utilizar un taladro de rehabilitación, en el cual se requiere recuperar la completación del pozo, bajar sarta con empacadura para realizar el forzamiento, utilizar herramientas para acondicionar el revestimiento (limpiar cemento) y finalmente recompletar el pozo. Además, durante la operación de recuperación de la completación, dada la baja presión de algunos yacimientos, es necesario utilizar material puenteante en el fluido de control del pozo. Esto obliga a realizar operaciones de limpieza de los cañoneos previo a la cementación incrementando aún más los costos de la operación.

Para lograr una cementación forzada exitosa se deben realizar las siguientes tareas: (1) Inyectar cemento dentro del intervalo a sellar o cavidad a llenar. (2) Aplicar presión para remover fluido de la lechada de cemento para formar una masa inmóvil e impermeable la que fraguará y sellará (nodos). (3) Remover el cemento remanente del interior del revestimiento para restaurar el diámetro original del mismo para futuras operaciones⁴.

CEMENTACIÓN FORZADA CON TUBERÍA CONTINUA

La Tubería Continua (CT) ofrece significantes beneficios para la colocación de la lechada, control del proceso de forzado y reducción de costos de la operación⁵. Sin embargo para aprovechar todo el potencial que ofrece esta técnica, se debe prestar especial atención en la selección y preparación del pozo seleccionado, la formulación de la lechada de cemento a usar y el diseño del trabajo.

En general una operación típica de cementación con CT para aislar una zona en el Lago de Maracaibo consiste en:

1. Preparar el fondo del pozo si es necesario. Para esto se ha usado con éxito arena de fractura, sellos y químicos (geles reticulados de alta viscosidad). La arena de fractura se coloca también con la tubería flexible bombeando una píldora con la cantidad necesaria para aislar zonas inferiores que no requieren ser forzadas con cemento. **Figura-1.**
2. Con la punta de la CT colocada aproximadamente 5 pies por encima del fondo, se bombea la lechada de cemento previamente mezclada, manteniendo el anular entre la tubería de producción y la CT abierto. Cuando la lechada de cemento comienza a salir por la punta de la tubería, aproximadamente 1 barril, la CT comienza a

levantarse a una velocidad igual o menor que la de ascenso de la lechada en el espacio anular permitiendo que la boquilla de cementación en el extremo de la tubería esté de 5 a 10 pies por debajo del tope de cemento. Cuando la lechada de cemento sale de la punta de la tubería, se acelera la velocidad de ascenso para permitir que la boquilla de cementación esté ubicada por encima del tope de cemento planificado. **Figura-2.**

3. Después de colocado el cemento y ubicado el extremo del CT a una distancia segura sobre el tope de cemento (al menos de 50 a 100 pies), se circula con agua filtrada hasta verificar 100% retorno de fluidos limpios a superficie. Se cierra el anular entre la tubería de producción y el CT y se comienza la operación de forzamiento. **Figura-3.**
4. La técnica de forzamiento dependerá de la inyektividad del pozo y del volumen de cemento a colocar. Ésta también depende del espacio que nos ofrece la completación para colocar determinada cantidad de cemento. El procedimiento mas usado es el forzamiento por etapas utilizado en pozos en el Lago de Maracaibo con excelentes resultados. Éste consiste en colocar un volumen de cemento y dejarlo en reposo por aproximadamente 15 minutos. Posteriormente se inicia el proceso de forzamiento de $\frac{1}{2}$ a 1 bbl de cemento en etapas de 10 minutos, haciendo paradas de bomba entre cada etapa, hasta alcanzar incremento en la presión de forzamiento. Ésta técnica ayuda a la deshidratación del cemento frente a la cara de la formación y a su vez a desarrollar nodos de buena calidad. Normalmente, durante esta etapa, ya existen pequeños nodos debido a presiones diferenciales inducidas por la densidad equivalente del cemento y efecto de presión hidrostática durante el desplazamiento. La compactación del nodo es importante para la protección del mismo durante la operación de contaminación del exceso de cemento. Generalmente el diferencial de presión en los orificios de cañoneo es gradualmente levantado hasta 1,000 –1,500 psi por encima de la presión de fondo durante el bombeo. **Figura-3**
5. Lograda la presión de forzamiento deseada, la operación posterior es la remoción del exceso de cemento en el revestimiento⁶. Esta operación debe ser planificada para cada pozo de acuerdo al tipo y condición del mismo. La técnica de contaminación consiste en remover el cemento excedente en los tubulares hasta la

profundidad planificada, utilizando para ello píldoras de gel con retardador de fraguado del cemento. El proceso de contaminación se debe realizar manteniendo una contrapresión en el reductor de +/- 500 psi (ésta presión depende de la presión del yacimiento). La tasa de bombeo y la velocidad de ascenso de la tubería continua se deben disminuir al pasar frente a los orificios de cañoneo con la finalidad de no romper los nodos creados por lavado o succión. Normalmente se realiza en dos etapas, la primera, diluyendo y levantando el exceso de cemento, aquí el fluido es bombeado por el orificio principal de la boquilla de cementación.

Figura-4. Cuando se han observado en superficie retornos limpios, se realiza la segunda etapa la que consiste en realizar una o más pasadas bombeando el agente contaminante a través de orificios laterales de la boquilla de cementación para lograr mayor efecto de limpieza sobre las paredes del revestimiento. **Figura-5.** La remoción del exceso de cemento con la técnica de contaminación es una de las mayores ventajas que hacen a la cementación forzada con CT tan atractiva eliminando los tiempos de espera de fraguado y limpieza del exceso de cemento en el revestimiento.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La mayoría de las técnicas generales para el diagnóstico del problema, la preparación del pozo y el diseño del trabajo que se usan en cementaciones convencionales son aplicables también a cementaciones forzadas con CT⁷. Sin embargo, las diferencias entre los dos procesos pueden afectar significativamente el éxito de la operación. Las operaciones de cementación forzada con CT son esencialmente operaciones en menor escala, tubulares más pequeños y generalmente, volúmenes de cemento menores. Como toda operación en escala reducida, la atención a los detalles es crítica.

Diagnóstico del problema

Normalmente, las cementaciones forzadas con CT están dirigidas a eliminar de la producción fluidos indeseables, agua y/o gas. El diagnóstico del problema, o sea la determinación del origen de los fluidos indeseables en el yacimiento y la forma cómo estos se producen es de vital importancia para el éxito del trabajo. Es práctica común el

uso de registros de evaluación para ayudar a definir el problema y determinar la localización de la zona a ser tratada. Algunos de los registros comúnmente usados son: Registro de Producción/Inyección (PLT's), Registros de Temperatura, Registros de Movimiento de Agua por activación del átomo de oxígeno, Registros de Saturación (Neutrón Pulsante) y en menor grado el uso de cámaras de vídeo (Downhole Videos).

Perfil de temperatura del pozo para operaciones de CT.

Los rangos de temperatura de circulación de fondo de pozo en operaciones de CT son usualmente más amplios que en operaciones de forzamiento convencional, simplemente por el hecho de bombear volúmenes más pequeños a una tasa menor. También, pruebas realizadas a escala real han mostrado que el bombeo de cemento a través del rollo de CT a tasas en el orden de 1.5 - 2 bbl/min sufre un incremento en temperatura de 1 °F /1000 pies de CT antes que la lechada salga de la tubería de CT⁸. Si la lechada a usar es relativamente sensible a la temperatura y la unidad de CT tiene mucha longitud enrollada, este factor requiere especial atención aún cuando la operación sea a baja profundidad.

Preparación del pozo.

La preparación del sistema mecánico del pozo y de los intervalos a ser cementados son factores a tomar en cuenta para el éxito del trabajo. La integridad mecánica e hidráulica de la completación es muy importante. En operaciones del Lago de Maracaibo es un estándar en cada operación de forzamiento con CT el chequeo de sellos y válvulas del cabezal del pozo, tubería de producción y revestimiento al igual que las empacaduras y otros equipos de fondo de pozo. Dado que el principal sistema de producción en el Lago de Maracaibo es levantamiento artificial por gas (gas lift), en toda operación de forzamiento, las válvulas del levantamiento (gas lift) son reemplazadas con válvulas ciegas para evitar dañar las mismas con cemento, al mismo tiempo de evitar tener puntos de fuga en el sistema y disponer de mayor control del proceso durante el forzamiento del cemento.

Aislamiento del intervalo a tratar:

Dependiendo de la configuración del pozo y del intervalo a tratar el aislamiento del mismo es fundamental para el éxito de la colocación de la lechada de cemento. Cuando el intervalo en cuestión está por encima de un intervalo que no se desea tratar, normalmente se usan tapones de arena para proteger el mismo. También se han usado con éxito sistemas de geles reticulados viscosos⁷. Estos tienen la ventaja de ser fácilmente removidos por circulación y lavado con un ácido débil.

Cuando se tiene mucho espacio por debajo de los intervalos cañoneados (hueco de rata) la experiencia ha mostrado que un volumen significativo de cemento cae por gravedad a dicho espacio, en lugar de penetrar en los orificios de cañoneo. En estos casos también se han usado tapones de arena o simplemente se utiliza un volumen de cemento extra para llenar el hueco e´rata. Este cemento extra puede ser removido posteriormente por contaminación o dejado como fondo de pozo si no se tiene interés en la parte inferior del pozo.

Cuando la zona a tratar es una zona inferior y existen intervalos en la parte superior a los cuales se desea proteger, según la configuración de diámetros de la tubería de producción y de revestimiento se utilizan empacaduras inflables con éxito⁷.. La ventaja más relevante de estas empacaduras es que una vez terminada la etapa de forzamiento cuando los elementos sellantes son retraídos se usa el mismo ensamble para realizar la contaminación del cemento remanente.

Limpieza del intervalo:

La experiencia en el Lago de Maracaibo, ha mostrado que este punto es de vital importancia para el éxito del sellado del intervalo a forzar. Cuando no se realiza el lavado de los intervalos cañoneados en forma efectiva y el pozo es colocado nuevamente a producción se han detectado entrada de fluidos indeseables por los mismos puntos que fueron cementados⁹. La operación de limpieza se realiza en conjunto con la prueba de inyektividad. Los valores de la inyektividad antes y después de la limpieza es una medida de la eficiencia de la misma y del grado de obstrucción presente en la zona de los orificios cañoneados.

El material de obstrucción en los orificios cañoneados puede ser uno, o una combinación de escamas inorgánicas, grasa, depósitos orgánicos como parafinas y

asfáltenos y restos metálicos causados por operaciones de fresado, cañoneo y corrosión. En casos donde la inyectividad es demasiado baja para realizar una cementación forzada exitosa se ha logrado duplicar y hasta triplicar la misma bombeando volúmenes de solventes (xileno, tolueno en diesel) y ácido con solvente mutual. La tabla I muestra fluidos típicos usados para la remoción de diferentes tipos de obstrucción.

Prueba de Inyectividad:

La información adecuada de la prueba de inyectividad ayuda en la selección del cemento a usar (cemento normal o cemento microfino o una combinación de ambos, por ejemplo ver referencia 10), en el diseño de la operación de forzamiento, en la formulación de la lechada de cemento a utilizar y en la selección del volumen de lechada. Antes de la prueba de inyectividad se deben seguir los siguientes pasos:

- El pozo debe estar bajo control y completamente lleno de fluidos
- El gas debe ser venteado, circulado o inyectado a formación.
- La densidad del fluido de inyección debe ser conocida.
- Se debe usar un equipo de lectura de presión apropiado para medir la presión de superficie y poder calcular la presión de inyección en el fondo del pozo con ayuda de simuladores.
- Usar fluido libre de sólidos. En el Lago de Maracaibo se usa agua del lago filtrada (<5 micrones) tratada con 3% KCl y 0.2% de surfactante.

Los procedimientos seguidos en el Lago de Maracaibo para la prueba de inyectividad son:

1. Bombeo del fluido de inyección al intervalo a una tasa constante mientras se monitorea la presión de superficie. Registrar la tasa y presión en cada paso para ser usado en el diseño del forzamiento. La tasa inicial de bombeo es normalmente 0.25 bbl/min.
2. Continuar bombeando a esta tasa hasta que la presión se estabiliza. La experiencia en el área indica cuando los orificios de cañoneo necesitan limpieza (baja tasa y alta presión).

3. Repetir el paso anterior a varias tasas hasta establecer un perfil de inyektividad. Usar estos datos con la hidrostática de la lechada de cemento para diseñar las presiones de superficie durante el bombeo.
4. Si es evidente la fractura de la formación a tasas de inyección y presiones mayores a la anticipada, considerar tratamiento de limpieza de los intervalos cañoneados.
5. Usar el dato de presión de fractura de formación más un factor de seguridad para determinar la presión de forzamiento a ser aplicada.

La experiencia de campo indica que la inyektividad mínima para cementaciones forzadas con CT en el Lago de Maracaibo deben ser alrededor de 1 bbl/min. Inyektividades menores y presiones altas indican que posiblemente lechadas de cemento normal no podrán ser usadas ya que no penetrarán en volumen y profundidad para producir un sello efectivo. Cuando éste es el caso, o cuando la lechada está dirigida a penetrar en un microanillo, se usan lechadas de cemento microfino.

Se han cementado con éxito intervalos con inyektividades de 1 a 3 bbl/min. Inyektividades mayores a 3 bbl/min y por consiguiente menores presiones de superficie (inclusive pozo sin circulación), son indicativas de zonas de muy alta permeabilidad, formaciones depletadas, zonas con fracturas naturales, etc. En estos casos se realizan tratamientos con mayores volúmenes de lechadas viscosas y con mayor pérdida de filtrado. Cuando el pozo no circula, se ha colocado con éxito un tapón de cemento utilizando lechadas con las características apuntadas anteriormente colocadas, frente al intervalo por gravedad. La misma presión hidrostática permite que la lechada de cemento penetre en la zona de alta inyektividad. En la mayoría de los casos luego de 30 minutos, el pozo restablece circulación, el exceso de cemento es limpiado por contaminación y se repite la operación de cementación logrando presiones de forzamiento altas asegurando la formación de nodos compactos e impermeables.

Diseño de lechadas y pruebas de laboratorio:

Las pruebas de laboratorio se preparan con suficiente tiempo y su objetivo es simular mediante una prueba piloto el comportamiento de la lechada al ser sometida a condiciones del pozo. Se miden en laboratorio según las Normas API¹¹ las siguientes propiedades: a) Densidad, b) Tiempo de espesamiento, c) Pérdida de fluido,

d) Reología, e) Agua libre, f) Sedimentación, g) Resistencia a la compresión, h) Compatibilidad con salmueras y lodos¹².

Las Normas API no son específicas para cementaciones forzadas con CT, por lo que es necesario realizar pruebas adicionales, incluyendo evaluación de la retorta dejada por la pérdida de fluido, resistencia al ácido y sensibilidad al corte. Además las pruebas de laboratorio se ajustan lo más posible a las condiciones del trabajo que se está diseñando, teniendo en cuenta:

- Temperatura del pozo: Es la variable que mas afecta la hidratación del cemento y el gradiente de temperatura en una operación de forzamiento con CT es diferente al de una operación convencional¹³.
- Presión en el pozo: La misma tiene un efecto menor que la temperatura en la hidratación del cemento, pero tiene un efecto significativo en la pérdida de fluido.
- Procedimientos y equipos de mezcla en sitio: En operaciones del Lago, las lechadas son mezcladas en tanques (batch mixer); por lo tanto, en el diseño del tiempo de espesamiento se incluye el período en el cual la lechada es mantenida en superficie antes de ser bombeada al pozo.
- Tiempo de bombeo estimado: El tiempo que toma bombear la lechada por el CT hasta los intervalos a forzar es el que determina la velocidad de calentamiento de la lechada.
- Secuencia de bombeo y técnica de forzamiento: Las pruebas de tiempo de espesamiento son realizadas bajo condiciones de esfuerzo de corte y de temperatura de fondo de pozo constantes; pero además, se simulan en laboratorio las condiciones de hesitación a realizar durante la operación.
- Tiempo estimado del trabajo. Esto incluye el tiempo de limpieza por contaminación y contingencia por condiciones climáticas adversas.

Se ha prestado especial atención a las pruebas de Pérdida de Fluido y Evaluación de la Retorta llegando a establecer valores óptimos para las operaciones en el Lago. Cuando se diseña un trabajo, se tiene en cuentas tres aspectos fundamentales:

- Filtrado óptimo
- Tiempo de aplicación de la presión de forzamiento
- Efectos de la temperatura, presión y aditivos de la lechada.

La **Figura-6** ilustra el efecto que tiene la formación de los nodos sobre los orificios de cañoneo, diferentes rangos de pérdida de fluido para una lechada convencional de cemento Clase G. La pérdida de fluido no controlada puede resultar en el crecimiento rápido de un nodo muy grande, no compacto y permeable capaz de obstruir prematuramente el diámetro interior del revestimiento y aislar los orificios de cañoneo inferiores, los cuales no reciben la cantidad de cemento requerida. Este efecto lleva a la conclusión errada que se logró el sellado de todo el intervalo, sin embargo la pérdida de comunicación hidráulica no permite aplicar la presión diferencial necesaria para formar los nodos en los orificios de cañoneo inferiores. Luego de limpiar el cemento, estos orificios de cañoneo no soportan la presión diferencial aplicada durante la etapa de evaluación de la cementación y el trabajo se debe repetir. En el Lago, el rango de pérdida de filtrado de las lechadas usadas en cementación forzada con CT se encuentra en el rango de 60-90 cc/30 min. Este mismo rango de pérdida de fluido o aún menor, también se usa en lechadas de cemento microfino cuando el objetivo es sellar una comunicación a través de microanillos por detrás del revestimiento.

Otro punto de consideración es el tamaño, compactación y resistencia del nodo para que no sea lavado durante la etapa de contaminación. Si la etapa de contaminación ha sido exitosa conservando el nodo, aún queda la preocupación que puedan pasar herramientas de cable tales como cañones. La **Figura-7** muestra nodos apropiadamente formados sobre los orificios de cañoneo. Aquí se observa la típica forma cóncava del nodo alrededor del orificio.

Como se explicó anteriormente, la operación de contaminación se realiza en dos etapas. La primera consiste en una contaminación usando la misma configuración de boquilla usada durante la etapa de colocación de la lechada de cemento. Luego de retornos limpios a superficie, se cambia la configuración de la boquilla. Para ello se arroja una bola, ésta obtura los orificios inferiores de la boquilla, abriendo orificios laterales diseñados de tal forma que el ángulo de incidencia sobre las paredes del revestimiento sea de 45 grados. Con esto se evita la remoción del nodo y se maximiza la limpieza de las paredes del revestimiento. **Figura-8.**

RESULTADOS:

Con la aplicación de la nueva técnica se han obtenido resultados altamente satisfactorios donde se puede resaltar un éxito del 90%. La **Tabla - II**, muestra la distribución de trabajos y la comparación de costos de Taladro de Rehabilitación vs Unidad de Tubería Continua, la **Tabla-III** corresponde a un cuadro comparativo de ganancia de producción por pozo respectivamente.

CASOS HISTÓRICOS

Caso 1:

El pozo Mot-58 fue completado el 20-03-2000 sencillo no selectivo con tubería de 3-1/2" y equipo de Levantamiento Artificial por Gas (LAG). Se cañoneó a través de tubería en dos intervalos de las arena Paují A-10, 8128'-8140' y 8058'-8076'. La producción inicial fue 2700 bbl/día de fluido total con 66% de corte de agua incrementándose a 99% en poco tiempo (**Figura-11**), indicativo de una comunicación directa de la fuente de agua con el pozo. Para determinar la procedencia de la fuente de agua y la manera de como ésta se producía, se corrió un registro de producción PLT y un registro de movimiento de agua por activación de oxígeno (SpFL). Los registros indicaron que el 93% del total de la producción de agua del pozo proviene del tope del intervalo 8058'-8076' (presencia de fractura), mientras que el intervalo 8128'-8140' aportaba el 7%, además se detectó comunicación del intervalo cañoneado superior al inferior por detrás del revestimiento. **Figura-10**.

Para corregir la entrada de agua y la canalización por detrás del revestimiento se realizó una cementación forzada con CT de acuerdo al procedimiento mostrado en detalle en el Anexo I.

Luego de la cementación forzada, se cañonearon los intervalos 8112'-8120' (A-10) y 7800'-7816' (A-9) a través de la tubería con la técnica de cañoneo bajo balance. La producción luego del trabajo se estabilizó en 814 bbl/día fluido total, 691 bbl/día petróleo neto, 14% agua. La **Figura-12**, corresponde a los registros PLT y SpFL corridos luego de la cementación forzada mostrando la nueva entrada de fluidos y distribución de los mismos.

Los ahorros obtenidos al aplicar la técnica de cementación forzada con contaminación utilizando CT en comparación con una rehabilitación convencional con taladro fueron de 904,4 MU\$.

Caso 2:

El LRF-122 se perforó en Noviembre de 1997, como pozo de desarrollo, teniendo como objetivo primario a las arenas C-3 (Area LRF-60) y secundario a B-6/9 (Area LRF-49), fue completado mecánicamente en Noviembre de 1997, zona única, yacimiento C-3. El mismo mantuvo una producción promedio de +/-700 BPPD con 2% AyS, hasta alcanzar 150 BPPD con 20% AyS en Agosto de 1998. Debido a la incapacidad del pozo de restablecer su potencial, se abandonó el yacimiento C-3/LRF-60 asentando tapón de cemento a 10720' el 20-8-98, y cañoneándose los intervalos del yacimiento B-6/9 disponibles por punta de tubería (10536'-10626' Selectivo). Inicialmente produjo 2254 BPPD con 3% AyS, incrementando el corte de agua progresivamente hasta Enero-00 con una producción neta de 100 BPPD con 80% AyS.

Figura-13

Se determinó que el origen de la fuente de agua es la arena ubicada a 10430' moviéndose por detrás del revestimiento producto de una cementación primaria deficiente. Para reparar la cementación primaria se programó una cementación forzada con tubería continua utilizando la técnica de contaminación de acuerdo a los lineamientos generales mostrados en el Anexo I.

En Abril-00 se forzaron 15 bbl de lechada de cemento microfino a todos los intervalos abiertos, se limpió el exceso de cemento y se cañonearon a través de la tubería con la técnica de cañoneo bajo balance los intervalos 10492'-10498' y 10502'-10510'. La producción de petróleo incrementó a 500 BPPD con una reducción en el corte de agua del 20% (Figura-14)

La **Figura-14** muestra los registros de cementación CBL-VDL antes y después de la cementación forzada mostrando la corrección de la cementación primaria.

CONCLUSIONES:

Debido a la aplicación de la Técnica de Cementación Forzada y Contaminación Controlada con Tubería Continua en 12 trabajos, la Corporación ha logrado ahorros de

10.957 MU\$ producto de la diferencia en costos por la no-utilización de taladro de rehabilitación para realizar estos trabajos. En este monto no se incluyen los ahorros directos aquí logrados por disminución de costos de levantamiento de agua, tratamiento en superficie y disposición de la misma y ahorros indirectos producto de menor corrosión, producción de escamas, etc., consecuencia de menor producción de agua. El ganancial en producción ha sido de 3.059 BNPD

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. Well Evaluation Conference, Schlumberger, Venezuela 1997.
2. Oil Review, Spring 1999 – Published by Schlumberger. Vol.-11, Number 1. England.
3. E.B.Nelson, Well Cementing, Schlumberger Sugar Land 1990, pág. 13-22.
4. M.J. Economides, L.T.Watters, S.Dunn-Norman, Petroleum Well Construction, , J.Wiley&Sons, Chichester 1998, 297-324).
5. Gantt, L.L. and Smith, B.E.: “Advancements in the Coiled Tubing Cement Squeeze Process at Prudhoe Bay,” paper presented at the 2 nd International Conference and Exhibition on Coiled Tubing Technology: Operations, Services, Practices, Houston, March 29-31, 1994.
6. Oliver, A., Calvert, G., and Gavin, B.: “Coiled Tubing Cement Squeeze with Wash Through Operation.” *SPE Production Engineering* (May 1992) 137-43.
7. Coiled Tubing Engineering Manual, Chapter. Zonal Isolation. Schlumberger.
8. Cementing Engineering Manual, Schlumberger, Chapter. Cementing Temperature, Schlumberger - January 1995.
9. Haney, J. and Folmsbee, G.: “Coiled Tubing Improves North Sea Squeeze Cementing,” *Petroleum Engineer International* (August 1991) 28-34.
10. “Microfine Cementing Products,” *Halliburton Best Practices Series*, Halliburton Bibliography number H00727 (Oct. 1997).
11. “Recommended Practice for Testing Well Cements,” *API Recommended Practice 10B*, 22nd Edition, API, Washington DC, (December, 1997).
12. Vidick, B., Nash, F.D., and Hartley, I.: “Cementing Through Coiled Tubing and Its Influence on Slurry Properties,” paper SPE 20959 presented at Europe 90, The Hague, October 22-24, 1990.

13. Squeeze Cementing with Coiled Tubing, presented by P. Bartel and J. Powers, February 1998.

CEMENTACION FORZADA CON CT CASO 1 - PROCEDIMIENTO OPERACIONAL

Primera etapa (con unidad de Tubería Continua)

1. Vestir equipos, tomando en cuenta el orden de los tanques de almacenamiento, bombas, líneas, etc.
 - 1.1. Colocar encerados y recipientes debajo de las unidades para evitar derrames de cualquier fluido.
 - 1.2. Tener disponible suficientes extintores de incendio portátiles, palas y cascara de arroz.
2. Verificar presiones por los espacios anulares y por la tubería de producción. Desahogar la tubería de producción y el anular de 7-5/8" x 3-1/2" y llenarlo con 226 bbl (cap. del espacio anular 7-5/8" x 3-1/2" = 0.0307 bbl / pies).
 - 2.1. Efectuar reunión de seguridad con todo el personal involucrado en el trabajo, dejar firmada la hoja de asistencia a la misma y enviarla junto con el reporte de campo.
3. Llenar la capacidad de la tubería continua y probar equipo con 3000 psi por 10 min.
 - 3.1. Chequear por fugas en: líneas de superficie, válvulas y junta rotatoria del carrito
4. Bajar tubería continua de 1-1/2" con conector interno + doble válvula unidireccional + desconector hidráulico + 6' de barra de carga + localizador de niples + boquilla especial de cemento (jet de vortex) de 2-1/8" [mínimo ID=2.75"] circulando con agua tratada a tasa mínima hasta 8,258' (profundidad total – cuello flotador)
 - 4.1. El 27-03-2000 se chequeo fondo a 8258'.
 - 4.2. Velocidad máxima bajando 100 pie/min.
 - 4.3. Pasar a través de restricciones a 10 pie/min. Reducir la velocidad 50 pies antes de llegar a la restricción hasta 50 pies después de la misma.
 - 4.4. Capacidades

Capacidades	Bbl/pies
Anular 3-1/2" x 1-1/2"	0.00651
Tubería 3-1/2", 9.3 lbs/pies	0.00870
Revestimiento 7-5/8", 39.0 lbs/pies	0.04260
Anular 7-5/8" x 1-1/2"	0.04045
Liner 5-1/2", 17.0 lbs/pies	0.02320
Anular 5-1/2" x 1-1/2"	0.02100

5. Correlacionar profundidades con el niple a 7579' y manga a 7318'.

5.1. Se debe ajustar la profundidad del contador y marcar la tubería con pintura para futuras corridas en el pozo.

5.2. Según última entrada al pozo se reportó una profundidad total a 8,216'.

6. Colocar la punta del CT a 8,070' y realizar prueba de inyectividad con 20 bbl de agua tratada. Asentar los valores obtenidos en el reporte de 24 hrs.

6.1. En caso de obtener tasa de inyección menor a 0.5 bbl/min., considerar el bombeo de solvente + HCl para incrementar la inyectividad de ser necesario.

Cementación forzada

7. Mezclar 6 bbl de cemento microfino + 6 bbl de cemento tipo "H" según formulaciones anexas de las pruebas piloto.

7.1 La lechada a utilizar dependerá de la prueba de inyectividad.

7.2 Las lechadas a utilizar serán preparadas únicamente según las formulaciones anexas.

8. Colocar la punta de la tubería a 8240' y bombear 12 bbl de cemento a 1.0 bbl/min. Desplazarlo con agua tratada, cuando salga el primer barril de la lechada por la punta del CT, bajar la tasa a 0.5 bbl/min. y cerrar el anular de 3-1/2" x 1-1/2", levantar la tubería a 7,600' a 23 pies/min. hasta completar el desplazamiento del cemento. Parar la bomba y levantar a +/- 7,300' y circular el pozo con agua tratada hasta verificar retornos 100% en superficie.

8.1 El tope teórico del cemento (antes de forzar) será 7,700'

8.2 El volumen de cemento será recalculado en locación de acuerdo a las condiciones del pozo (tope de relleno, presión de inyección en la prueba, etc.).

8.3 Los aditivos serán suministrados por la cía. de servicio según la prueba de tanque realizada al cemento.

8.4 Asegurarse de mantener el anular CT-tubería de producción lleno antes de realizar el forzamiento (100% retornos en superficie).

9. Cerrar el anular de 3-1/2" x 1-1/2" y forzar máximo 9 bbl de cemento a la formación en etapas, con intervalos de 10 minutos, hasta una presión máxima en cabeza de 1,500 psi.

9.1 El tope teórico del cemento después del forzamiento será de 8,000'.

10. Abrir el anular CT - tubería de producción manteniendo una contra presión de 500 psi, bombear 20 bbl de contaminante (biozan) en dos batches de 10 bbl y bajar a contaminar el cemento remanente a una tasa de 1 bbl/min. Al salir 1 bbl por la punta del CT, continuar bajando hasta 8.258' (profundidad total). Circular hasta obtener retornos de todo el cemento en superficie (volumen mínimo 144 bbl = 1.5 veces la capacidad anular del pozo con el CT sin tomar el desplazamiento interno del mismo).

10.1 La densidad del contaminante (biozan) será de 1 lbs/bbl.

10.2 Todo el proceso de contaminación se debe realizar con el pozo estrangulado con +/- 500 psi.

10.3 Disminuir la rata de bombeo a 0.3 bbl/min. cuando se esté contaminando frente a los intervalos cementados.

11. Subir tubería hasta superficie y retirar inyector. Esperar 24 horas por fraguado del cemento.

11.1 Sacar tubería a 50 pies/min bombeando a 0.4 bbl/min. llenando el desplazamiento del metal con el pozo estrangulado con 300 - 500 psi.

12. Luego de pasadas las 24 horas de fraguado. Conectar líneas al pozo, verificar anular lleno y realizar prueba de inyektividad con agua tratada con una presión máxima de 1000 psi.

12.1 Registrar volumen con que se llena el pozo y el espacio anular.

12.2 Colocar manómetro en el revestimiento.

12.3 En caso de recibir el pozo, repetir proceso de cementación desde paso n° 7.

13. Bajar tubería de 1-1/2" con rollon conector, doble válvula unidireccional + 6' de barra + boquilla de 2-1/8" y chequear fondo, con punta de tubería a 8,258', desplazar el pozo con gasoil hasta obtener retorno de gasoil en superficie. (volumen con CT en el hoyo = 96 bbl.)

14. Sacar tubería hasta 2800', bombeando el volumen de gasoil equivalente al desplazamiento metálico.

Prueba de influjo.

15. Con la punta de la tubería a 2500' desplazar la columna de fluido con nitrógeno hasta observar 100% N2 en superficie

15.1 La prueba de influjo se realizará con un diferencial de presión de 400 psi.

16. Sacar tubería a superficie. Abrir el pozo y monitorearlo alineado al tanque de retornos durante dos horas.

17. Desvestir equipo y mudar equipos del pozo del pozo.

Segunda Etapa (Con unidad de registro y cañoneo)

18. Cañonear con cañones de 2-1/2" y alta penetración bajo balance estático el intervalo 8112'-8120' (A-10).

Tercera Etapa (Con unidad de guaya fina)

19. Bajar con calibrador de 2-1/2" y chequear fondo a 8,258'

20. Bajar y reemplazar válvulas ciegas por válvulas de gas lift según la siguiente calibración.

<u>Prof.</u>	<u>Tipo de valv.</u>	<u>Diámetro de válvula</u>	<u>Asiento</u>	<u>Presión de Taller</u>
7,279'	RDO	1.5"	20/64"	-----
5,068'	R-25	1.5"	16/64"	864 psi

Cuarta Etapa (Con unidad de registro y cañoneo)

21. Cañonear con cañones de 2-1/2" y alta penetración bajo balance dinámico el intervalo 7800'-7816' (A-9).

22. Desvestir equipos.

23. Importante: **dejar pozo abierto.**

Tabla I: Fluidos de Limpieza para la Remoción de Depósitos

Tipo de Depósito	Formula	Volumen de tratamiento (gal/pies)
Escama de Carbonato de Calcio	10-15% HCl	20-30
Cemento – Escamas de Silicato	12:3 mud acid	20-50
Parafina – Asfáltenos	Solvente de parafina ó xileno/tolueno	20-40
Mezcla de Parafinas/Asfáltenos y Escamas	12% HCl + 10% Xileno 50:50 Xileno/Tolueno & 10-15% HCl	30-40
Grasa ó Mezcla de Parafinas/Asfaltenos con Oxido/Metal	70:20:10 Xileno ó Tolueno :Ac. Acético :Solvente Mutual	30-50

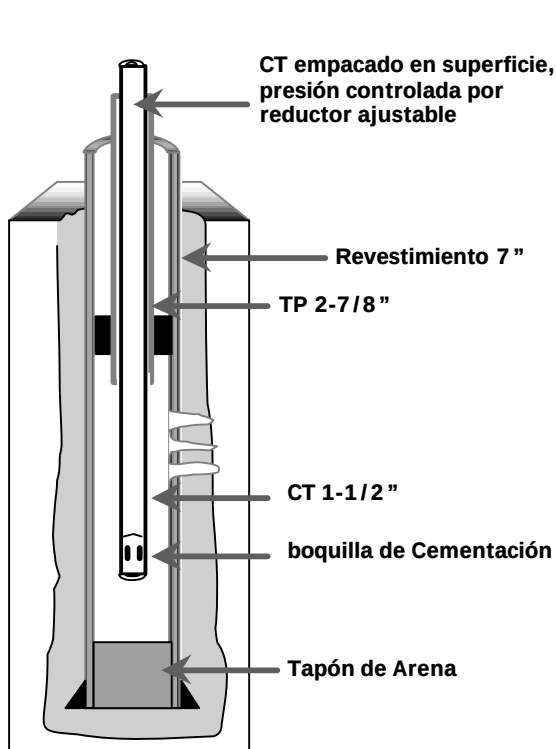


Figura- 1: Tapón de arena usado para llenar el hueco de ratón /tapar intervalos inferiores

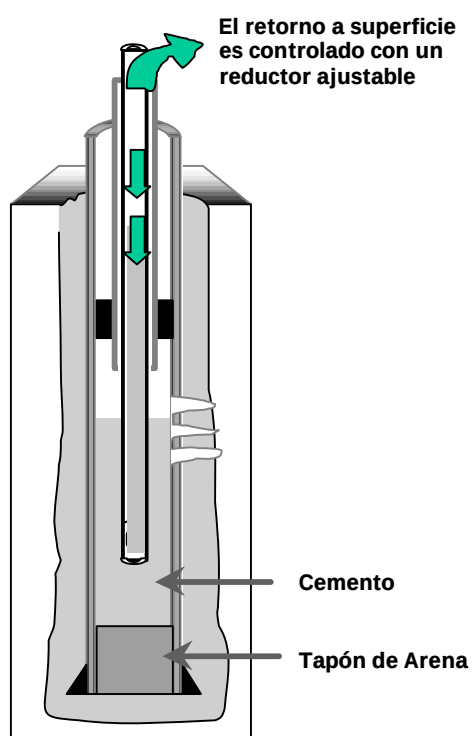


Figura- 2: La lechada es colocada fondo arriba con el retorno controlado en superficie

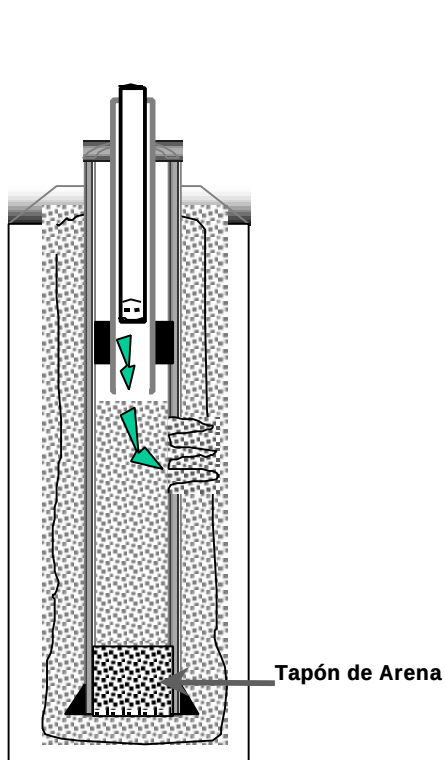


Figura- 3: Con el CT en posición segura se realiza la operación de hesitación.

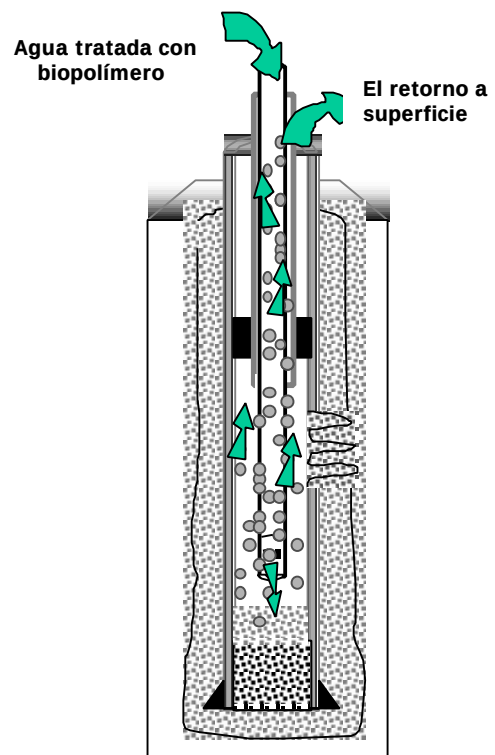


Figura- 4: Se realiza la contaminación del exceso de cemento con biopolímeros

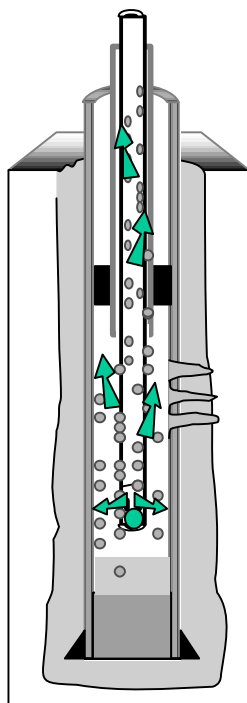


Figura- 5: Se termina la limpieza del revestimiento con acción de la boquilla lateral

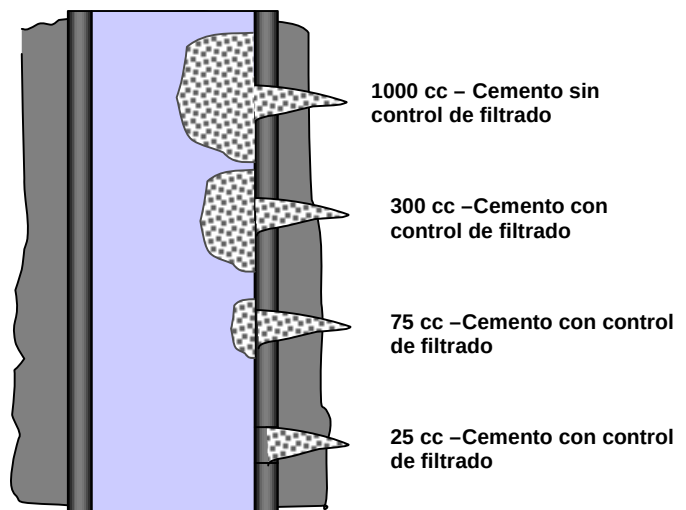


Figura- 6: Efecto de la pérdida de fluido en las características del nodo en los cañones

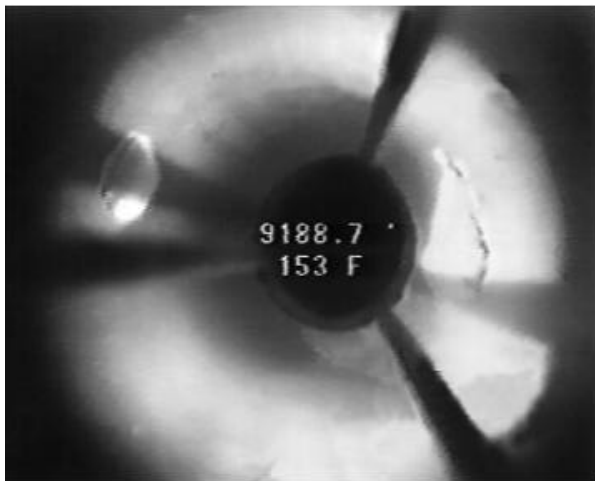


Figura- 7: Vídeo de los nodos de cemento a nivel de los orificios cañoneados.

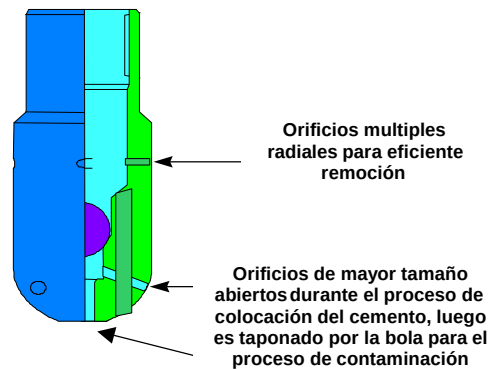


Figura- 8: Boquilla

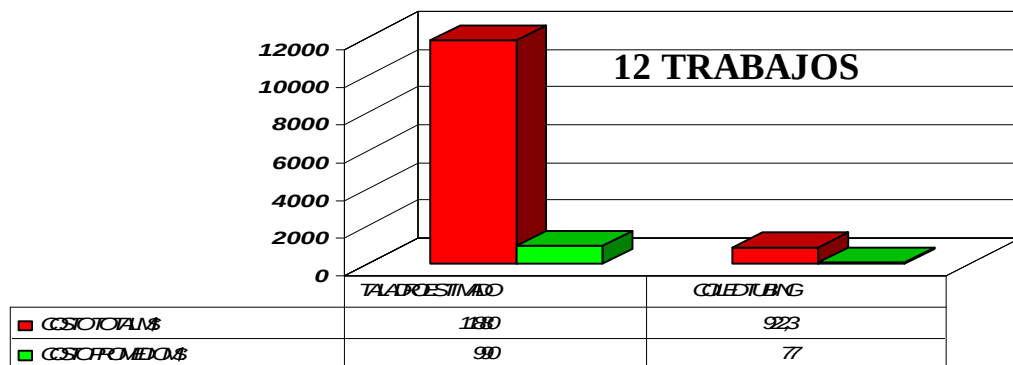


Figura- 9: Comparación de Costos

UNIDAD DE TUBERIA CONTINUA

Pozos	Actividad	Tiempo Real (Días)	Costo Total (M\$)
LLB-0045	Forzamiento	4,5	79,3
SVS-0329	Forzamiento	4,5	124,3
SVS-0345	Forzamiento	9	107,7
SVS-0370	Forzamiento	3,5	17,7
LLB-0011	Forzamiento	4,5	75,9
SVS-0108	Forzamiento	4	57,8
SVS-0371	Forzamiento	7	77,5
VLC-0989	Tapón	5	91,3
VLA-1145	Tapón	7	68,0
SVS-0381	Forzamiento	6	60,9
MOT-58	Forzamiento	4	85,6
LRF-122	Forzamiento	6	76,3
TOTAL			922,3

REPARACION CON TALADRO

Tiempo Estimado (Días)	Tasa de Taladro (M\$)	Total Taladro (M\$)	Ahorros (M\$)
22	45	990	910,7
22	45	990	865,7
22	45	990	882,3
22	45	990	972,3
22	45	990	914,1
22	45	990	932,2
22	45	990	912,5
22	45	990	898,7
22	45	990	922,0
22	45	990	929,1
22	45	990	904,4
22	45	990	913,7
TOTAL		11880,0	10957,7

Tabla II: Comparación de costo por pozo

Pozo	% Agua y Sedimento		Producción de Petroleo	
	PRE	POST	PRE(Bbl/dia)	POST (Bbl/dia)
LLB-0045	98	88	17	100
SVS-0329	64	8	382	828
SVS-0345	66	58	380	433
SVS-0370	98	20	98	281
LLB-0011	98	98	0	17
SVS-0108	93	45	110	270
SVS-0371	58	30	642	1249
VLC-0989	60	60	132	142
VLA-1145	90	4	16	104
SVS-0381	50	1	282	603
MOT-58	98	4	0	691
LRF-122	80	20	100	500
Total:			2159	5218

Ganancial Neto:
3059 BNPD

Tabla III: Ganancia de producción por pozo contaminado.

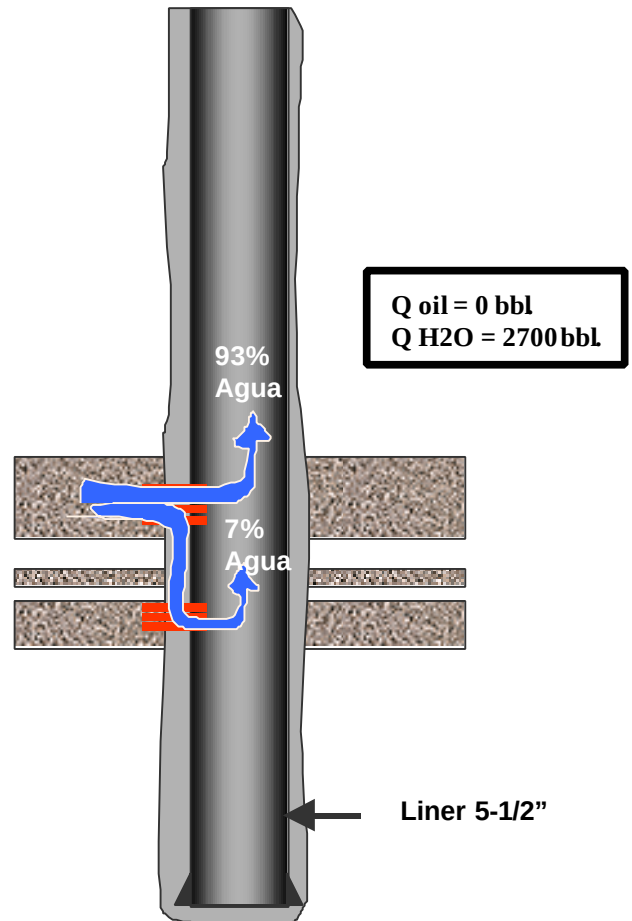
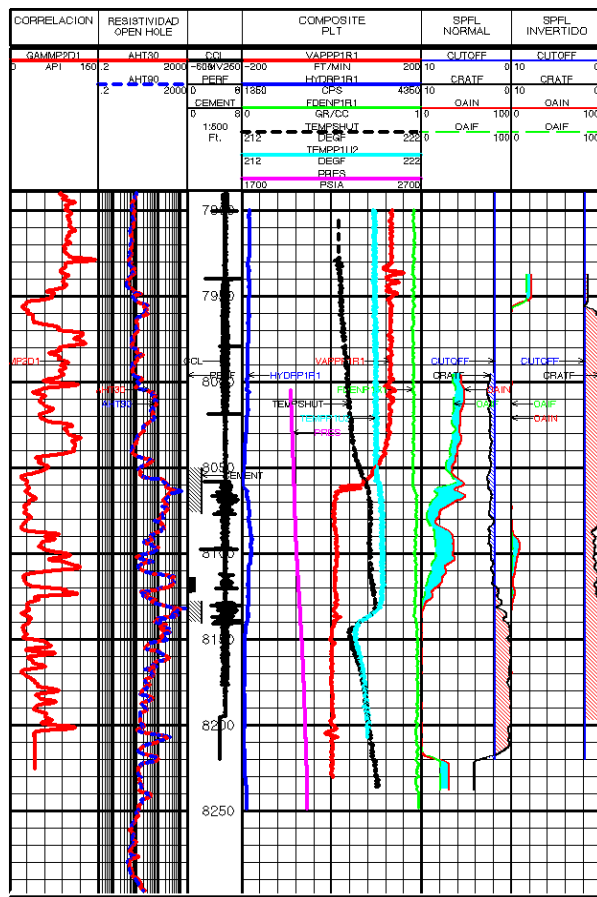


Figura-10: Pozo Caso 1 – Registro PLT y SpFL corrido para diagnosticar el problema, muestra entrada de fluido y movimiento de agua por detrás del revestidor (Antes del trabajo).

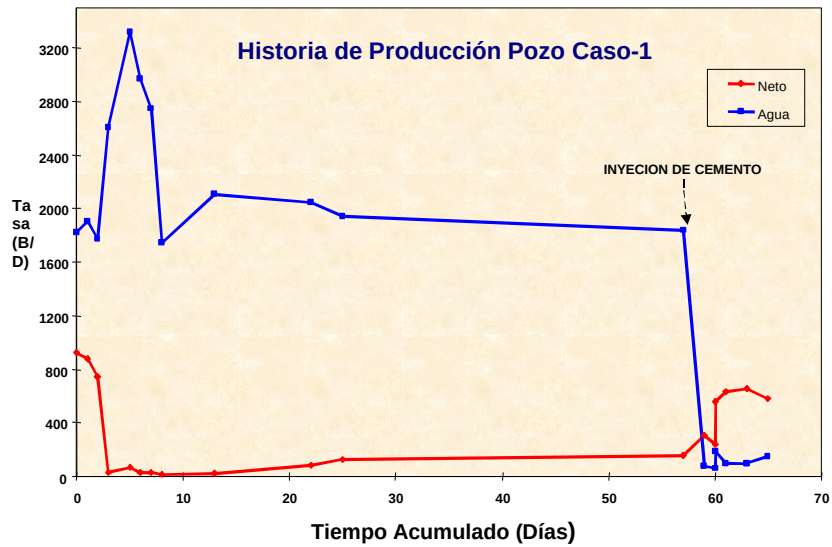


Figura-11: Historia de producción Pozo Caso-1

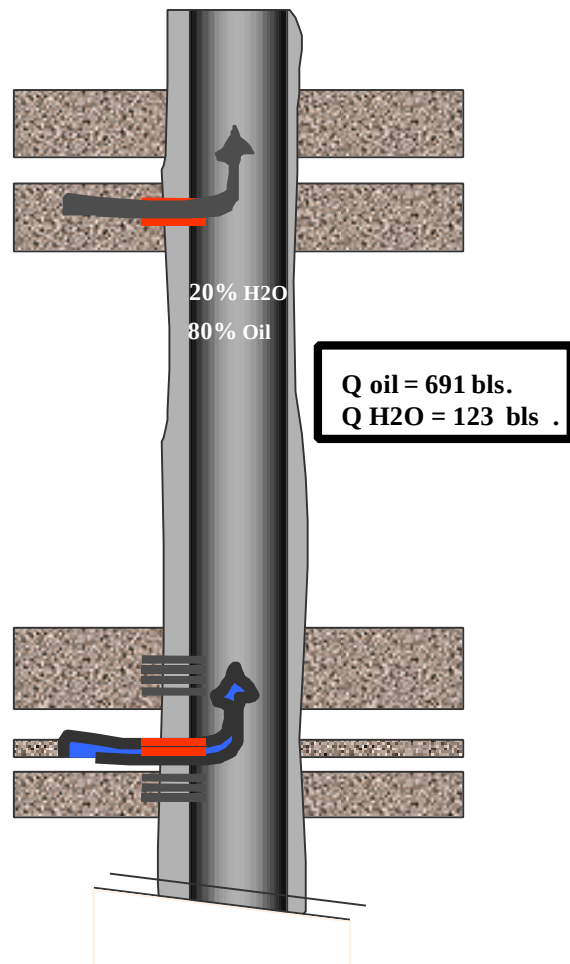
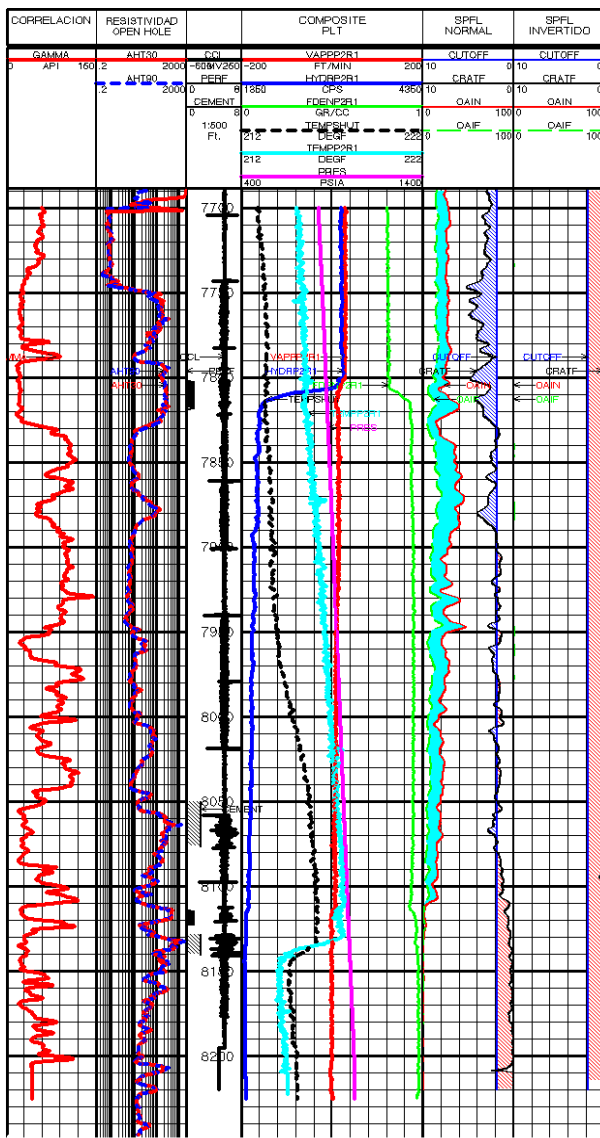


Figura-12: Pozo Caso 1 – Registro PLT y SpFL corrido luego de la cementación forzada, mostrando la entrada de fluidos. (Despues del Trabajo).

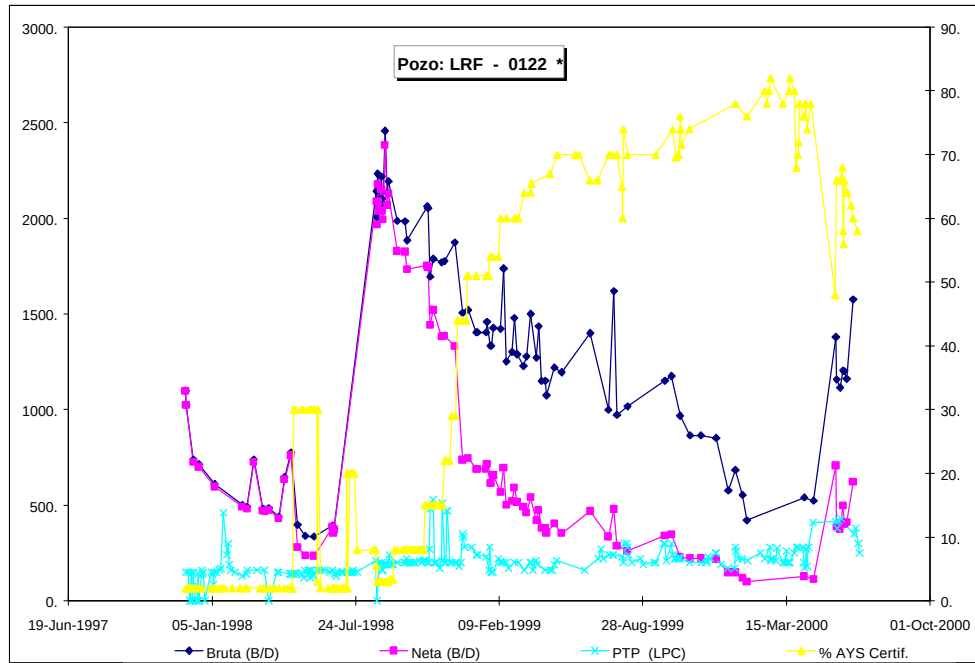


Figura-13: Caso 2 – Historia de producción

