

“XII Congreso Latinoamericano de Perforación”

**EVALUACIÓN DE CEMENTO ESPUMADO A ESCALA REAL Y
APLICACIÓN EN FORMACIONES CON BAJO
GRADIENTE DE FRACTURA EN EL LABORATORIO
INTEGRADO DE CAMPO LAGOMAR.**

Ricardo Pardey

Ian MCPerson

María A Centeno

Carmen Ramírez

Julio Casares

Alberto Ochoa

Arevalo Velázquez

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

RESUMEN

En el campo Lagomar, ubicado al noroeste del Lago de Maracaibo, la zona productora se caracteriza por presentar bajos gradientes de presión de poro y de fractura. Esta condición impone la necesidad de utilizar tecnologías de cementación livianas tales como cemento espumado. Con la finalidad de evaluar esta tecnología, previo a su aplicación en campo, se diseñó un programa de pruebas de simulación a gran escala empleando una celda anular de alta presión. Durante las pruebas se registraron y analizaron las variables operacionales críticas y se correlacionaron con las propiedades mecánicas, densidad, morfología y permeabilidad de muestras de cemento fraguadas en la celda. En este estudio se evaluaron muestras de cemento con calidad de espuma entre 29% y 58% fraguadas a 1000 psi. Las discrepancias observadas entre las variables y propiedades con respecto a los valores de diseño y el fenómeno de estratificación, observado en algunas muestras de cemento con calidad de espuma superior a 50%, revelaron la necesidad de desarrollar una metodología para verificar la calidad de espuma en tiempo real durante la operación. Las prácticas aprendidas durante el programa de pruebas en la celda anular, fueron aplicadas con éxito en el diseño y ejecución de la cementación de un revestidor de producción en el Campo Lagomar, lográndose excelentes resultados de aislamiento zonal.

INTRODUCCIÓN

La presencia de zonas agotadas con bajos gradientes durante las operaciones de perforación a incrementado el uso de lechadas de baja densidad en aquellas zonas en las cuales la presión hidrostática que ejerce la columna de cemento excede el gradiente de fractura de la formación. Actualmente los diseños de lechadas de baja densidad convencionales pueden llegar hasta densidades tan bajas como 10,5 lpg; pero se mezclan con mucha dificultad y tienden a desarrollar geles rápidamente^[1,2,3]; así mismo las propiedades mecánicas del cemento fraguado tienden a disminuir.

La tecnología de cemento espumado ofrece propiedades únicas que pueden ser ventajosas en cualquier aplicación de campo^[4]. El cemento espumado es reconocido principalmente por la ventaja de que se pueden alcanzar densidades menores de 10,5 lpg con un desarrollo de propiedades mecánicas aceptables^[4]. Este presenta, además, adecuadas propiedades de compresibilidad, baja pérdida de fluido y excelentes propiedades térmicas una vez fraguado^[1,2,3]. En este trabajo, se presentan los aspectos más relevantes de la evaluación de la tecnología de cemento espumado, enmarcada dentro del proyecto del Laboratorio Integrado de Campo (LIC) Lagomar. La finalidad de la actividad es prestar apoyo a PDVSA-EP en el proceso de implantación de la tecnología de cemento espumado en el país, para lo cual se estableció la evaluación de la tecnología mediante la planificación y ejecución de unas pruebas a escala piloto, para esto se utilizó la celda anular del Centro Experimental de Producción (CEPRO) junto con los equipos automatizados de la compañía Halliburton.

Las prácticas aprendidas de estas pruebas fueron aplicadas con éxito en el diseño y ejecución de la cementación de un revestidor de producción de 7 pulgadas en el pozo VLA-1344 de la secuencia de pozos del LIC Lagomar.

OBJETIVO

En respuesta del gran interés de aplicar en Venezuela la tecnología de cemento espumado, particularmente en pozos incapaces de soportar columnas de fluidos de alta densidad (alta presión hidrostática), se planifico realizar una prueba en la celda anular de cementación del CEPRO.

Los objetivos del estudio realizado fueron:

1. Demostrar que la tecnología disponible es confiable.
2. Evaluar las propiedades físicas del cemento espumado, fraguado a condiciones de presión y temperatura.
3. Evaluar la respuesta de los registros de la calidad de cementación.
4. Demostrar la versatilidad del CEPRO para este tipo de pruebas y aplicar las prácticas aprendidas en el diseño y ejecución de la cementación en un pozo de la secuencia de pozos del LIC Lagomar.

DISEÑO DE LAS PRUEBAS

Las propiedades de la lechada espumada están íntimamente relacionadas con la calidad de espuma (la relación gas a lechada) ^[4,5]. La calidad de la espuma es normalmente controlada y calculada en el campo usando la relación de tasas de flujo medidas tanto para el nitrógeno como para la lechada base; sin embargo, este método depende 100 % de la precisión de los medidores de flujo. Una medida directa de la calidad de la espuma puede ser determinada en campo a través de la medida de la densidad de la lechada espumada, desafortunadamente, la densidad de la lechada espumada (antes de fraguar) es dependiente de la presión (y en un menor grado de la temperatura), por tanto los cálculos deben hacerse considerando estos parámetros ^[5,6].

Para una operación de cementación con lechada espumada, la compañía Halliburton cuenta con un sistema de dosificación de los componentes que conforman la espuma (lechada, aditivos y nitrógeno) acoplados para que funcionen como un sistema automatizado. El propósito de tener un sistema automatizado es que exista una correspondencia entre la tasa de flujo de nitrógeno, la tasa de flujo de aditivos surfactantes y la tasa de flujo de la lechada, y que estas puedan responder de acuerdo a un plan previo determinado (por etapas constante o variable) ^[7].

A continuación se presentan dos pruebas realizadas en el CEPRO con la tecnología de cemento espumada identificadas como Prueba 1 y Prueba 2, en la prueba 1 se cemento la celda anular para evaluar propiedades del cemento y respuesta a la evaluación mediante registro y en la prueba 2 se evaluó la respuesta del equipo automatizado, no se cemento la celda, solo se utilizaron unos toma muestras.

PRUEBA 1

PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN EL ESQUEMA OPERACIONAL

1. **Densidad de diseño:** entre 8 y 10 lpg para simular condiciones de campo. Evaluaciones realizadas en Halliburton Duncan de los cementos disponibles en el país: Mara clase H, Vencemos clase A y Caribe clase B dieron como resultado que el cemento Caribe clase B fue el que presentó mejores propiedades para estas condiciones. Se utilizó 15,6 lpg como densidad de la lechada base utilizando cemento tipo B.
- **Presión:** restringida a 2000 psi debido a la máxima presión de trabajo de la celda anular del CEPRO y de los toma muestra.
- **Tasa de bombeo de la lechada:** Mínima permisible para los equipos de campo a 1 bbl/min, debido a que a altas tasas el ensayo se hace en muy corto tiempo.
- **Tasa de bombeo de Nitrógeno:** Mínima permisible con el equipo de campo no modificado es 150 pies³ estándar/min con solo una bomba trabajando, se prefirió trabajar a un mínimo de 300 pies³ estándar/min para asegurar la precisión.
- **Sistema generador de espuma:** se utilizó una reducción de presión a través de la válvula de estrangulamiento (Choque) menor de 800 psi, a fin de que se genere suficiente energía de mezcla para crear una espuma estable, con burbujas discretas y pequeñas.
- **Sistema dosificador del surfactante:** A concentraciones normales (espumante y estabilizador) correspondientes a una mínima tasa de bombeo de lechada de 1 bbl/min.
- **Volumen:** Un mínimo de 5 bbl de lechada espumada se requiere para llenar el espacio anular de la celda y la manguera, adicional a esto se estimaron 3 bbl de lechada base para pérdidas en las líneas y sumideros.
- **Tiempo:** el tiempo se definió en base a un mínimo para lograr estabilizar la operación de los equipos, propiedades de la espuma y asegurar un desplazamiento anular adecuado; Con todas estas consideraciones se requirió un mínimo de 10 minutos de tiempo de bombeo.
- La configuración de la prueba (Fig. 1 y 2) y el procedimiento operacional fueron estructurados y desarrollados como sigue:
 - ✧ Seguridad, responsabilidades y comunicación.
 - ✧ Ensayos de presión y funcionamiento de equipos.
 - ✧ Mezclado y bombeo de lechada de cemento.
 - ✧ Toma de muestras (Fig. 3).
 - ✧ Desplazamiento del tapón y chequeo de retorno.
 - ✧ Aislar la celda anular del resto del sistema.
 - ✧ Desahogo de la presión, desestabilización de la espuma y desecho del exceso de lechada de cemento espumado.

EJECUCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ajuste de los equipos:

Se realizó un primer ensayo para simular el proceso de espumado, para lo cual se utilizó agua y nitrógeno, se utilizó agua en lugar de cemento y agua en lugar de surfactantes. El sistema automatizado

para el control y seguimiento de la operación, respondió satisfactoriamente y mostró la rápida respuesta a cambios en la tasa de bombeo de la señal controladora (tasa de flujo de agua en lugar de lechada), siguiendo la etapas programada.

Llenado de la celda anular:

Se procedió al mezclado y bombeo de la lechada espumada de acuerdo al plan. La presión fue controlada mediante de una válvula estranguladora colocada a la salida hacia los tanques de desecho. En esta prueba el sistema no respondió satisfactoriamente; debido a que a la baja tasa de bombeo de 1 bpm y a las propiedades de la lechada. Para realizar el trabajo se envió una señal simulada continua de 1 bpm como señal de control a los demás equipos (nitrógeno y aditivos).

En la figura 4 se muestra la densidad de la lechada durante el trabajo, corregida a 1000 psi que fue la presión de confinamiento de la lechada una vez colocada en la celda anular del CEPRO. La curva superior (color azul) es la calculada mediante las tasas de flujo de lechada base y la tasa de nitrógeno. La curva inferior (rosada) es la medida por el densómetro radioactivo. Se pudo observar que las lecturas medidas por el densómetro fueron mucho más bajas que las calculadas por medio de las tasas de flujo establecidas.

Una vez fraguado el cemento se desmonto la celda y se tomaron las muestras respectivas (tope, medio fondo y zapata). Posteriormente se compararon las medidas de densidad registradas por el densómetro con la densidad de la muestra fraguada, observándose una gran similitud entre ellas, tal como se muestra en la Tabla 1. En la prueba se obtuvieron densidades menores a las diseñadas, debido a que se bombeó la lechada a una tasa menor a la planificada. Los ensayos de laboratorio reflejados en la Tabla 1 revelan que las muestras de cemento espumado exhibieron bajas propiedades mecánicas y alta permeabilidad. Estos resultados están acorde con los bajos valores de densidad obtenidos y registrados por el densómetro.

REGISTROS

La cementación de la celda anular del CEPRO fue evaluada mediante un registro tipo sónico como lo es el CBL y un registro tipo ultrasónico como el CASTV, ambos de la compañía Halliburton.

Registro CASTV.

El registro CASTV es un registro ultrasónico y la respuesta puede ser procesada para obtener la variación estadística y la interpretación derivativa de la impedancia acústica. En las Figuras 5 y 6 se representa los resultados obtenidos con los registros tomados.

En la Figura 5 se representan las medidas de impedancia acústica (Z) (Secciones desde A - I) en 9 sectores diametralmente ubicados detrás del revestidor. El principio de interpretación dice que a pesar del valor absoluto de la impedancia acústica (Z), las curvas se verán o notaran "nerviosas" si existe un sólido detrás del revestidor y estable, casi una línea recta, cuando hay un fluido. En otras palabras, los fluidos son relativamente homogéneos comparados con los sólidos cristalinos. En nuestro caso las curvas son muy nerviosas, indicativo de que hay una buena adherencia del cemento.

Registros CBL y VDL.

Para el registro de la Figura 6, la primera columna (de izquierda a derecha de la Figura 6) representa el promedio de impedancia acústica Z (AVZ), este valor es bajo como es de esperarse para el tipo de cemento. La columna dos y tres (de izquierda a derecha de la Fig 6) son las curvas del CBL y VDL respectivamente, en ellas se observa una baja amplitud (4 a 7 mV), la cual se esperaría entre (15 a 20 mV) para este tipo de cemento, este resultado puede deberse posiblemente a la corta longitud del intervalo registrado, centralización pobre o errores instrumentales.

La cuarta columna es el mapas de las medidas de impedancia acústica (Z), el cual es presentado tradicionalmente por todas las compañías de servicio. Este sería interpretado normalmente como si no hubiese presencia de cemento, debido al bajo valor absoluto de Z (entre 2.5 y 3.5). La columna 5 representa la derivada de Z calculada usando un algoritmo, propiedad de Halliburton, desarrollado para la evaluación de lechadas muy livianas, este registro indica la presencia de cemento.

Por estos resultados se recomienda revisar los datos crudos y su procesamiento (estadística/derivada) de los registros de impedancia acústica.

Análisis morfológico.

El análisis morfológico de las muestras de cemento espumado obtenidas de los diferentes cortes transversales de la celda anular permitieron correlacionar las propiedades del cemento espumado con la estructura y tamaño a de la celdas formadas dentro del cemento por efecto de la espuma. En el análisis obtenido por microscopía electrónica de barrido de una muestra tomada del fondo de la celda, los valores de distribución y tamaño de las burbujas se encuentran entre 3.8 a 4,0 burbujas / mm^2 y 0.1 a 0.4 mm respectivamente.

Fenómeno de estratificación por capas.

En las muestras obtenidas de la celda anular se pudo observar en la superficie de la sección cortada una serie de fisuras (Fig. 7). Estas fisuras superficiales pueden deberse al proceso de corte de la celda, o al manejo de las muestras, o al proceso de despresurización. Investigaciones posteriores revelaron que estas fisuras no son superficiales, en una vista longitudinal de la muestra se observo diferentes capas con una pobre adherencia o discontinuidades de capas sin ninguna afinidad entre sí, cuya orientación se ajusta a los perfiles de velocidad de flujo durante el desplazamiento del cemento en el anular.

Si suponemos la hipótesis de que bajo ciertas condiciones de flujo las lechadas de cemento espumado no exhiben una distribución uniforme a los esfuerzo de corte, y a los cambios graduales de los gradientes de velocidad imprevistos, que puedan existir. Entonces este flujo ocurre en elementos separados a diferentes velocidades, dando lugar a deslizamiento de capas sobre capas sin ninguna afinidad entre ellas. Claramente, bajo estas condiciones se puede observar la existencia de capas continuas así como discontinuas, aun después de detenido el movimiento, manteniéndose de esta forma una vez fraguado el cemento.

Las condiciones bajo la cual ocurre este fenómeno puede ser dependiente de algunos o todos de los siguientes parámetros:

- ✧ Propiedades y composición química de la lechada base.
- ✧ Etapas de hidratación de la lechada base.

- ✧ Régimen de flujo.
- ✧ Química de los aditivos .
- ✧ Presión.
- ✧ Calidad de espuma (Relación de volumen de gas / Volumen total de lechada base)
- ✧ Distribución de tamaño de burbuja.
- ✧ Historia de la espuma.
- ✧ Tubería o geometría anular.

La importancia de este fenómeno para las cementaciones de pozos, radica en la existencia, en el anular del pozo, de múltiples discontinuidades internas en el cemento por la formación capas sobre capas con poca afinidad ("fisuras") orientadas de acuerdo a los perfiles de flujo, con lo que pueden no tener las propiedades requeridas de resistencia, ductilidad y aislamiento zonal. Se requieren investigaciones adicionales para aclarar este fenómeno, su reproducibilidad, y bajo que condiciones ocurre.

PRUEBA 2

Basados en la experiencia operacional resultante de la primera prueba en el CEPRO, se acordó realizar un ensayo adicional usando los equipos de campo requeridos para verificar y ajustar el procedimiento de control. Para este caso, el uso de la celda no fue necesario, lo cual simplificó la prueba considerablemente. Los objetivos establecidos para esta prueba fueron los siguientes:

- Probar el grado de confiabilidad y exactitud de usar medidores de flujo tipo turbina, para determinar la tasa de la lechada base a condiciones reales de campo (4 bpm).
- Probar el grado de confiabilidad y exactitud de usar medidores de flujo tipo turbina, para determinar la tasa de flujo de la lechada , tan bajas como 1 bpm.
- Comparar la lectura de los medidores de flujo de turbina con las obtenidas a partir de los contadores de emboladas (stroke counter) de la bomba y ensayar planes de contingencia para pasar de una señal a otra durante el trabajo (control de flujo alternativo).
- Establecer la confiabilidad y exactitud del densómetro radioactivo de alta presión para medida de la densidad de la espuma en la línea de descarga. Las condiciones de ensayo varían entre 3,6 y 11,2 lpg para la densidad de la lechada espumada entre 300 a 1000 psi.
- Reconfirmar que el sistema automatizado se ajusta adecuadamente las tasas de nitrógeno y aditivos surfactantes de acuerdo a los cambios en la tasa de flujo de la lechada de cemento base.
- Tomar tres muestras adicionales de cemento espumado a diferentes densidades y calidades de espuma, creadas bajo diferentes condiciones de caída de presión a través del generador de espuma.
- Revisar propiedades mecánicas, morfología y discontinuidad interna orientada de acuerdo a los perfiles de flujo.
- Validar la correlación para calcular la caída de presión a través del generador de espuma, para optimizar la selección del tamaño de la apertura de la válvula estranguladora para el trabajo de campo.

PARÁMETROS ESTABLECIDOS DEL ESQUEMA OPERACIONAL

- **Densidad de diseño:** entre 3 y 11 lpg para simular condiciones de campo. Se utilizo 15,6 lpg como densidad de la lechada base utilizando cemento tipo B.
- **Presión:** máxima restringida a 1000 psi debido a la máxima presión de trabajo de los toma muestra, válvulas y uniones. La mínima fue restringida a 300 psi, por el requerimiento de simular condiciones en superficie.
- **Tasa de bombeo de la lechada:** La mínima permisible por los equipos de campo a 1 bbl/min. Máxima 4 bpm para simular condiciones reales de aplicación en campo.
- **Tasa de bombeo de Nitrógeno:** La mínima permisible por el equipo de campo no modificado 150 pies³ estándar/min con solo una bomba trabajando.
- **Sistema generador de espuma:** se utilizó una reducción de presión a través de la válvula de estrangulamiento (Choque) menor de 800 psi, a fin de que se genere suficiente energía de mezcla para crear una espuma estable, con burbujas discretas y pequeñas.
- **Sistema dosificador de surfactantes:** A concentraciones normales (espumante y estabilizador) correspondientes a una mínima tasa de bombeo de lechada de 1 bbl/min.
- **Volumen:** El volumen máximo que se pueda colocar en los depósitos (capacidad de 700 bbl) una vez desestabilizada la espuma.
- **Tiempo:** De acuerdo a las pruebas realizadas en el CEPRO, el mínimo para lograr estabilizar la operación de los equipos, propiedades de la espuma y asegurar un desplazamiento hacia los toma muestras; con todas estas consideraciones se requirió menos de 1 minuto.
- A continuación un resumen de las condiciones operacionales establecidas:

Tasa de flujo de la lechada base	1- 4 bpm
Tasa de flujo de nitrógeno	150- 800 pies ³ estándar/min
Presión de la espuma	300- 1000 psi.
Presión aguas arriba del Nitrógeno	1200- 2800 psi.
Diámetro del Generador de espuma	10/64 pulg.
Volumen de lechada base	20 bbl.
Tiempo de bombeo	aprox .9 minutos.
Volumen de desechos	700 bbl de espuma a presión atmosférica.

En la Figura 8 se muestra el comportamiento de la lechada espumada con respecto a la presión de trabajo. La Figura 9 se puede observar que hay una buena aproximación entre la tasa de flujo medida con los contadores de emboladas de la bomba y con los medidores de flujo cuando se bombea agua. Pero cuando se bombea la lechada, la medida proveniente de los contadores de la bomba son un 20 % mayores que la proveniente de los medidores de flujo. El análisis posterior de la densidad resultante del cemento espumado fraguado y otras evidencias de mejor exactitud obtenidas con los medidores de flujo, apoyan la conclusión de que estos últimos son los más confiables para determinar con mayor precisión la tasa de flujo que los contadores de la bomba.

La Figura 10 muestra como el densómetro responde rápidamente a los cambios en la densidad de la espuma. También se puede observar que la densidad medida con el densómetro esta por encima 0,5 lpg (+ 0,5) del valor calculado a través de la tasa de flujo de nitrógeno y la tasa de flujo de lechada base.

Las muestras tomadas después de fraguado el cemento se evaluaron en el laboratorio, cuyos resultados se muestran en la Tabla 2, observándose los siguientes aspectos:

1. Los valores de las densidades experimentales concuerdan con los calculados en el diseño de la prueba, lo cual indica un excelente control de la espuma en el ensayo de automatización. Las diferencias entre la densidad experimental y calculada se encuentra entre 0.4 y 0.7 lpg, lo cual es un error muy pequeño para propósitos operacionales.
2. La densidad disminuye con el incremento de la concentración de nitrógeno acorde con lo esperado.
3. Las propiedades mecánicas del cemento espumado revelan que la resistencia a la compresión aumenta con la densidad de la espuma. Se observa un punto de inflexión en 8 lpg aproximadamente, donde las propiedades mecánicas del cemento caen significativamente, esto concuerda con los resultados reportados en la literatura^[6].
4. Al comparar estos resultados con los resultados del primer ensayo, estos presentan mayores valores de resistencia a la compresión, lo cual hace pensar en una mejor estabilidad de espuma en este segundo ensayo.
5. El módulo de Young presenta valores similares a los obtenidos en el primer ensayo. Se observa un comportamiento similar para la deformación a la carga máxima y en la energía para romper. La deformación ultima es menor para las muestras tomadas en el segundo ensayo y puede atribuirse a factores dimensionales de la muestra como paralelismo, tamaño de la muestra, etc.
6. Las medidas de permeabilidad siguen una tendencia con respecto a la relación densidad/calidad de la espuma en la muestra. Como es de esperarse la permeabilidad disminuye con el aumento de la densidad hasta un valor de 8 lpg / 50% de calidad de espuma después del cual se observa un incremento signifiante en la permeabilidad. En casos de densidades más altas como 11,0 lpg / 30% de calidad de espuma se observa una disminución de la permeabilidad.
7. Con estos resultados quedó demostrado que el equipo automatizado, bien configurado, es capaz de generar la densidad de la espuma acorde con valores diseñados.
8. De este segundo ensayo se concluye que la tecnología de cemento espumado puede ser aplicada sin el temor de poner en peligro la integridad del pozo, si se cumplen las siguientes recomendaciones.

PRÁCTICAS OPERACIONALES RECOMENDADAS

Las siguientes recomendaciones se realizan basadas en la experiencia operacional adquirida durante los dos ensayos realizados en el CEPRO.

- **Análisis de riesgo y sensibilidad:**

Las propiedades de espuma son altamente dependientes de la presión, por ser un fluido compresible. Debido a la incertidumbre existente en la mayoría de los casos de las condiciones del pozo, las propiedades de la espuma resultante en el espacio anular pueden ser significativamente

distintas a las diseñadas. La sensibilidad del diseño estará íntimamente relacionada al riesgo asociado a la operación, ejemplo de causa y efecto relacionado con cemento espumado:

Causa	Posible Efecto
Hoyo lavado	Bajo tope de cemento (TOC) – Zonas expuestas Alta densidad de espuma- pérdida de circulación/fractura
Hoyos delgados o canalización	Alto TOC – Espuma expandida en superficie Baja densidad de espuma Alta viscosidad de la espuma Baja resistencia del cemento fraguado Alta permeabilidad del cemento fraguado Pérdida de control del pozo
Pérdida de circulación	Expansión y densidad sin control
Baja calidad de espuma (baja relación de nitrógeno)	Alta densidad de espuma – pérdida circ./ fractura Bajo volumen de espuma – bajo TOC
Alta calidad de espuma (alta relación de nitrógeno)	Baja densidad de la espuma Alto volumen espuma – alto TOC Baja densidad de espuma Alta viscosidad de espuma Baja resistencia del cemento fraguado Alta permeabilidad del cemento fraguado Pérdida del control del pozo

- **Preparación de equipos:**

Antes de empezar el trabajo, el sistema tiene que ser lavado completamente para eliminar cualquier traza de surfactante que pueda afectar las propiedades de la espuma. Es imperativo aislar los surfactantes de la unidad de mezcla de la lechada base hasta el momento de comenzar el trabajo. Como los medidores de flujo tanto de la lechada como del nitrógeno son los responsables del control de la calidad de la espuma, es importante su posición y alineación para obtener mayor exactitud.

- **Instrumentación y control:**

Como mínimo se requieren los siguientes instrumentos para que puedan ser registradas todas las variables. Todos los instrumentos deben estar calibrados y estar dentro de especificaciones.

Lechada base: 2 medidores de flujo (tipo turbina u otro), tamaño acorde al programa de tasas de flujo a utilizar, un densómetro radioactivo, un contador de emboladas de la bomba.

Nitrógeno: 1 medidor de flujo (tipo turbina u otro), tamaño acorde al programa de tasas a utilizar, un transductor de temperatura, un transductor de presión y un contador de emboladas.

Lechada espumada: 1 densómetro radioactivo (frecuencia de amortiguación y registro ajustado a lecturas en tubería lisa) y un transductor de presión.

Para el control del trabajo, se requiere que el enlace entre la tasa de flujo de los surfactantes y el nitrógeno con la tasa de flujo de la lechada base este acorde con el diseño pre determinado. Dependiendo de la complejidad de la operación se puede emplear una sola tasa de flujo o por etapas pre-programadas.

El análisis de las pruebas realizadas indican que los medidores de flujo son más precisos que los contadores de embolada de la bomba para registrar la tasa de flujo de la lechada, y que las lecturas de emboladas no toman en cuenta una caída significativa de la eficiencia de la bomba para la

lechada de cemento; sin embargo, no es recomendable utilizar los medidores de flujo para controlar "automaticamente" el sistema nitrógeno /surfactante debido a la posibilidad que existe que la turbina del flujometro se bloquee durante la operación y se tenga que parar el trabajo.

Por lo tanto, es recomendable tomar la señal de control de los contadores de emboladas de la bomba, habiendo primeramente ajustado el factor de escalamiento electrónico para que el contador de emboladas coincida con los del flujometro, esto puede hacerse mientras se bombean los primeros barriles de cemento para cada trabajo. Antes de comenzar el trabajo se puede ajustar el sistema para que uno de los medidores de flujo pueda ser usado como respaldo del sistema de control en caso de que el contador de emboladas falle durante el trabajo, de tal forma de cambiar la señal sin tener que parar la operación.

Para el registro de la densidad de la lechada espumada se recomienda el uso de un densómetro radioactivo. Los densómetros deben ser colocados en la línea de formación de la espuma corriente abajo para verificar que la densidad esta acorde con la planificada. La densidad medida en superficie debe ser ajustada de acuerdo a lo que se requiera a condiciones de fondo de pozo (presión y temperatura).

- **Caída de presión a través del generador de espuma:**

El ensayo permitió validar la fórmula para calcular la apertura de la válvula de estrangulamiento del generador de espuma. La fórmula revisada para calcular la relación entre la tasa de flujo de gas, presión corriente arriba y abajo a través del generador de espuma esta basada en una ecuación sugerida en trabajos anteriores ^[5]. Criterio de selección de la apertura de la válvula de estrangulamiento: es posible que se tengan limitaciones operacionales, sin embargo hay que considerar maximizar la velocidad del gas a través del generador de espuma, manteniendo una relación de presión corriente abajo/arriba por debajo de 0,53 (por encima de la velocidad crítica).

- **Registro de cementación:**

Se recomienda correr un registro ultrasónico basado en la impedancia acústica (CAST-V o USIT) conjuntamente con un registro tipo sónico (CBL) para evaluar el cemento espumado en el pozo. (CBL+CASTV ó USIT).

APLICACIÓN EN EL POZO VLA - 1344.

El trabajo consistió en la cementación del revestidor de producción de 5 1/2 pulgadas, asentado a una profundidad de 6855 pies en un hoyo de 8,33 pulgadas. Dicho hoyo fue perforado con el lodo Aphron (microburbujas) de 7,8 lpg de la compañía Schlumberger. En la Tabla 4, se presenta información general sobre el trabajo realizado.

PROGRAMA DE PERFORACIÓN

Características del pozo VLA-1344.

Se propone la perforación de un pozo productor en la localización AQL-3, Bloque 1, en los yacimientos Basal la Rosa, C-4 y C-5, y como parte del Laboratorio Integrado de Campo (LIC) de Lagomar.

DISEÑO DE LA CEMENTACIÓN DEL POZO VLA-1344.

Simulación de la cementación.

Con el objeto de simular el trabajo de cementación espumada propuesto para el pozo VLA-1344 localización AQL-3 se utilizó el programa de simulación OPTICEM de Halliburton. A continuación se resumen los resultados principales de la simulación.

Parámetros de diseño:

Profundidad medida (zona de fractura)	6855 pies
Gradiente de fractura	0,52 psi/pie
Profundidad medida del yacimiento	6435 pies
Presión de poro del yacimiento	0,34 psi/pie
Presión adicional de asentar el tapón	500 psi
Incremento de volumen simulado	5,0 bbl

En la Tabla 5 se muestra un resumen de los datos obtenidos de la posición de los fluidos. Los datos indican un tope teórico de cemento de 5006,7 pies con un volumen de lechada de 80 bbl. En la Tabla 6 se presenta un resumen de la densidad, caudal y volumen de los fluidos bombeados durante la cementación.

Planificación del trabajo.

El diseño de la cementación se realizó de la manera más simple posible, relación de nitrógeno constante a tasa constante. Adicionalmente, se empleo instrumentación de respaldo (Back-up) en conjunto con varios métodos de verificación de la calidad de la espuma. Estas prácticas operacionales corresponden al aprendizaje obtenido durante las pruebas del CEPRO.

Previo al trabajo, se diseñó un diagrama de densidad de espuma en función de la presión en superficie con su correspondiente correlación con la densidad de diseño a presión de fondo de pozo, mediante el cálculo de la densidad del nitrógeno y el volumen específico de gas (pies³/bbl ocupados) a diferentes presiones tabuladas ^[5]. Para estos cálculos se empleó un balance de masa - volumen asumiendo 410 pies³ de N₂ / bbl de lechada base (16.0 lpg). Este diagrama permite validar rápidamente si la densidad de la espuma a la presión de superficie se corresponde con la densidad deseada a fondo de pozo. Para tal fin se registran las presiones de superficie (eje x) y se determina la densidad de espuma a partir de la curva (eje y). Si el valor determinado coincide con la densidad que lee el densómetro en línea, entonces la densidad en el pozo será de 11,7 lpg, de acuerdo al diseño.

La curva utilizada para la operación del pozo se elaboró bajo las siguientes condiciones: temperatura de 100°F para la espuma y el gas. Sin embargo, las curvas también muestran la variación en la densidad entre 60°F y 140°F, en caso de que se asuma otra temperatura de operación.

La temperatura de nitrógeno se estableció en 100°F, con la suposición que esta sería aproximadamente igual al valor de la temperatura de la lechada de cemento base, y por lo tanto resulta en una temperatura de espuma bastante uniforme (lechada y nitrógeno). Esto aumentaría la exactitud de cálculos que relacionan la densidad y presión de superficie con los valores de diseño a fondo de pozo.

Mezclado y densidad de la lechada base.

Para el trabajo se planifico preparar una lechada de cemento de 16.0 lpg con cemento clase H, Mara, sin embargo, la lechada base se preparó a 16,1 lpg para compensar la reducción de densidad esperada por la adición de los surfactantes. El mezclado de la lechada base se realizó rápidamente y eficientemente. La densidad se verificó con una balanza presurizada, la cual presentó problemas debido a que carencia de los sellos (o-rings). Las medidas registrada por los densómetros radioactivos (RA) en línea durante el trabajo indicaron valores de 16,4 lpg.

Medidas de flujo de la lechada base.

Las medidas de flujo se controlaron mediante tres métodos alternativos:

- 1.- Emboladas de la bombas triplex HT (Pump Strokes).
- 2.- Flujo metro de turbina de 2 pulgadas de diámetro.
- 3.- Flujo metro de turbina de 3 pulgadas de diámetro.

Los tres métodos mostraron una notable concordancia a largo del trabajo, tanto si se bombeaba lechada de cemento base o agua, en un intervalo de tasa de 3 a 7 bpm. La similitud entre las lecturas obtenidas a través de los diferentes métodos superó las expectativas del trabajo aunque esto no debe esperarse necesariamente en futuros trabajos.

La verificación de la validez de los parámetros de diseño y el cálculo de la densidad de la espuma durante el trabajo se realizó utilizando combinaciones de los distintos valores registrados para las variables operacionales registradas durante la cementación. No hay una razón de peso que obligue a escoger alguno de los valores registrados como los más precisos.

Teórico	Flujo metro 2 pulgadas.	Flujo metro 3 pulgadas.	Conteo de Stroke
158,4 bbl	160,4 bbl**	165,5 bbl**	164,3 bbl**

** valores corregidos restando 1 bbl de retorno.

Espumantes / Estabilizadores.

La adición correcta del surfactante se verificó a lo largo del trabajo, mediante la medición del nivel del aditivo en el tanque (inmersión de un marcador de nivel en el tanque) y registro de los datos a partir de medidores de flujo con el sistema de adquisición continuo de datos.

Nitrógeno.

Durante la prueba de equipos, llevada a cabo el día antes del trabajo, se descubrió un mal funcionamiento en el circuito electrónico que controla la inyección automática de nitrógeno. Por esta razón, se decidió el control manual de la unidad de nitrógeno durante la operación de cementación.

Flujo de Nitrógeno.

La concentración del nitrógeno de 410 pies³ / bbl (diseño) corresponde a un caudal de 1230 pies³/min para una tasa planificada de lechada base de 3 bpm. Durante el trabajo, el valor de la tasa de flujo estuvo entre 3,2 y 3,3 bpm, correspondiendo a flujos de nitrógeno entre 1271 a 1353 pies³ / min.

El flujo de nitrógeno fue registrado mediante los siguientes métodos:

1. Conteo de "strokes" de la bomba de Nitrógeno.

2. Medidor de flujo de nitrógeno.

Selección del estrangulamiento en el generador de espuma y caída de presión.

La presión en superficie, durante la etapa de espumado de la lechada, fue estimada mediante el simulador OPTICEM dando como resultados valores entre 500 y 700 psi. En base a esta presión máxima en superficie, diseñando para obtener una caída de presión determinada a través del generador de espuma, se calculó el diámetro del mismo utilizando la fórmula de caída de presión en el generador de espuma que se validó durante las pruebas en el CEPRO, con lo cual se determinó que un tamaño de 14/64 pulgadas de estrangulamiento sería la mejor selección para este trabajo, con las siguientes consideraciones:

- Mantiene una caída de presión de +/-1000 psi hasta una presión en cabezal del pozo (WHP) de 1200 psi.
- Mantiene la presión de N₂ constante, aguas arriba a cualquier WHP hasta 1200 psi (no es necesario, pero permite el monitoreo más simple de las variables durante el trabajo).
- Asegura una presión de N₂ aguas arriba razonable desde el punto de vista de seguridad y operabilidad (< 2500 psi)

Una válvula con este tamaño de apertura no se encontraba disponible, por lo cual se decidió utilizar el tamaño más cercano disponible, 16/64 pulgadas, lográndose una caída de presión de +/- 800 psi hasta un WHP de 1200 psi, y una presión constante de N₂ aguas arriba de +/- de 1650 psi.

Sin embargo, durante el trabajo la presión de superficie fue superior a la estimada (1000 psi), por lo que solo se logró una caída de presión en el generador de espuma de 500 a 600 psi, lo cual es inferior al valor mínimo de 800 psi asumido como deseable para trabajos de cementación con espuma.

Densidad de la espuma.

Se obtuvo una excelente concordancia entre la densidad de diseño, la medida y la calculada a partir de los datos de caudal, lo cual se logró con mínimos ajustes de la tasa de flujo de la lechada base.

En el trabajo se observó una oscilación perceptible en la densidad entre 1700 y 1900 segundos, ocasionado por fluctuaciones en la tasa de flujo de nitrógeno gaseoso. Aunque las emboladas de la bomba se mantuvieron razonablemente constantes a lo largo del trabajo, es evidente que el flujo de gas a través del intercambiador de calor sufrió fluctuaciones. Es importante señalar, que analizando los resultados se observa una buena concordancia entre la densidad estimada en superficie, la densidad real y la calculada, basándose en los datos de presión y tasa de bombeo de N₂ y lechada base.

Desplazamiento.

El volumen medido de desplazamiento de 160,4 bbl se corresponde bien con el valor calculado de 158.4 bbl. También, el balance entre el volumen de fluido que entró en el pozo respecto al volumen de retorno revela una discrepancia de 7,1 bbl, lo cual se considera excelente. Lo anteriormente mencionado se muestra en la Tabla 7.

La presión friccional durante el desplazamiento fue aproximadamente 600 psi mayor que la estimada con el simulador OPTICEM. Debido a que la presión registrada durante la etapa de circulación con lodo

estuvo +/- 100 psi alrededor del valor estimado, es posible concluir que durante la cementación la presión friccional atribuible a la espuma fue mayor que la anticipada o que se presentó restricción en el flujo por algún tipo de obstrucción.

Del análisis de las variables operacionales descritas anteriormente se infiere que el trabajo de cementación fue exitoso lográndose el objetivo planteado.

REGISTROS DEL POZO VLA-1344.

Con la finalidad de evaluar la calidad de la cementación, se programó la toma del registro ultrasónico CAST-V de Halliburton y un registro SBT de Baker Atlas. El registro se corrió aproximadamente 35 horas después de la cementación, lo cual se considera adecuado para lograr una precisa interpretación de los mismos. El registro fue tomado sin presión.

A continuación se presentan los comentarios de la interpretación de los registros, utilizados en la evaluación de la cementación del pozo VLA-1344 con el sistema espumado:

REGISTRO CAST-V - CBL - VDL/GR.

Tubería libre: los arribos de revestidor forman fuertes líneas verticales (intervalo 1000 - 4900 pies). Se observa el efecto Chevron (a 1000 pies, a 1040 pies, a 1080 pies, a 1120 pies y 1160 pies). La amplitud se mantiene prácticamente constante en intervalo de tubería libre con una amplitud de 20 mv, mostrando una brusca disminución frente al cuello. La mínima lectura en el CBL esta entre 5 y 10 mv desde 5000 hasta 6880 pies. Con zonas puntuales de máxima amplitud de 15 a 20 mv. Siendo estas zonas: 5780, 5840, 6000, 6310, 6320, 6441 pies. El tope de cemento se encontró según el registro de CBL-VDL a una profundidad de 4950 pies, lo cual concuerda notablemente bien con el tope teórico diseñado (5000,6 pies) y el obtenido a partir de las presiones de bombeo justo antes del momento de asentamiento de tapón. El VDL muestra atenuación en las señales de arribo de tubería en intervalo de profundidad cementada y señales onduladas correspondientes a la formación, lo que sugiere en líneas generales una buena adherencia del cemento tanto a la formación como al revestidor.

La presentación de las medidas de impedancia acústica (Z) en los nueve sectores se puede interpretar en principio que a pesar del valor absoluto de la impedancia acústica (Z), las curvas se ven o se notan "nerviosas" ya que si existe un sólido (cemento) detrás del revestidor, mostrándose casi una línea recta cuando hay un fluido (tubería libre). En otras palabras, los fluidos son relativamente homogéneos comparados con los sólidos cristalinos. En nuestro caso las curvas son muy nerviosas, indicativo de que hay adherencia del cemento.

REGISTRO SBT A 500 PSI.

La empresa Baker Atlas corrió un registro tipo sónico SBT para evaluar la calidad de la cementación. Tubería libre: los arribos de casing forman fuerte líneas verticales (intervalo 1000 - 4920 pies). Se observa el efecto Chevron (a 1000 pies, a 1040 pies, a 1080 pies, a 1120 pies, 1160, a 1200, a 1240 y a 1280 pies). La amplitud se mantiene prácticamente constante en intervalo de tubería libre con una amplitud entre 70 - 80 mv y la atenuación en 1,5 dB/pies, mostrando una brusca disminución frente al cuello (10 mv).

La mínima lectura de la amplitud es de 10 mv y la atenuación entre 1,5 y 6,5 dB/pies desde 5000 hasta 6880 pies. Con zonas puntuales de máxima amplitud de 15 a 30 mv y la atenuación entre 4,5 a 6 dB/pies. Siendo estas zonas: 5070, 5200, 5760, 5905, 6000, 6310, 6320, 6441 pies.

El tope de cemento se encontró según el registro SBT a una profundidad de 4920 pies (2 dB/pies y 30 mv), lo cual concuerda notablemente bien con el tope teórico diseñado (5000,6 pies) y el obtenido a partir de las presiones de bombeo justo antes del momento de asentamiento de tapón.

CONCLUSIONES

1. Las pruebas realizadas en el CEPRO son un ejemplo de las innumerables ventajas asociadas con el uso de la celda anular, que permite minimizar riesgos técnico-económicos asociados con pruebas realizadas directamente en pozos.
2. Se considera que esta prueba constituye el arranque de la curva de aprendizaje de cemento espumado en el país.
3. Se establece una combinación de registros sísmicos y ultrasónicos para la evaluación de este tipo de trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Harms, W.M. Febus, . "Cementing Fragile-Formation Wells With Foamed Cement Slurries". Paper SPE 12755, 1985
2. Aldrich, C.A. Mitchell, B.J. "Strength, Permeabilities & Porosity Of Oilwell Foam Cement". Journal Of Engineering For Industry, Aug 1976 Colorado School Of Mines.
3. Pickett, S.L and Cole, S.W. "Foamed Cementing Technique For Liners Yields Cost-Effective Results". Paper SPE 27679, 1994. Pag 523-529.
4. Montman, R. D. Sutton, L.W. Harms, M. Mody, B.G.. "Low Density Foamed Portland Cements Fill Variety Of Needs". Oil & Gas Journal, July 26, 1982. Also Similar Article By Same Authors In World Oil, June 1992
5. Kulakofsky,D.S and Creek, P.G. "Techniques for Planning and Execution to Improve Foam Cement Job Performance". Papers SPE 15519 presented at the 1986 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans. Oct 5-8.
6. De Rozieres, J & Ferriere, R. "Foamed-Cement Characterization Under Downhole Conditions And Its Impact On Job Design". Paper SPE 19935, 1991.
7. Von Flatern, R. "Automation Brings Foamed Cements Under Control". Offshore, Aug., 1997.
8. Frish, G. J. Graham, W.L and Griffith, J."Assessment of Foamed- Cement Slurries Using Conventional Cement Evaluation Logs and Improved Interpretation Methods". Papers SPE 55649 1999 Rocky Mountain regional Meeting held in Gillette, Wyoming, 15-18 May 1999.
9. Economides, M., Watters, L and Dunn-Norman. "Petroleum Well Construction". 1998.pag 224.

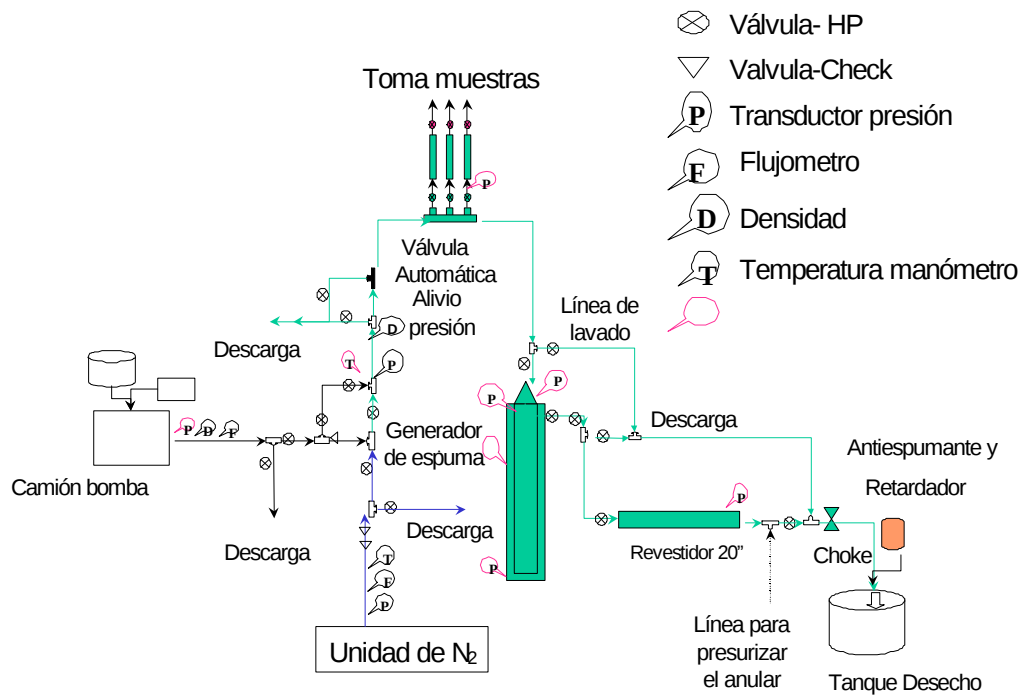


Fig. 1.- Esquema de la configuración de equipos de la prueba en el CEPRO

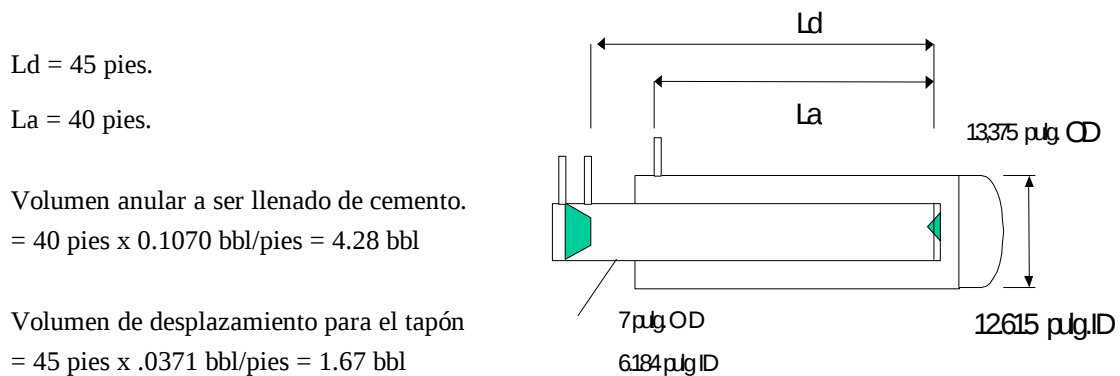


Fig. 2.- Esquema del arreglo del espacio anular de la celda.

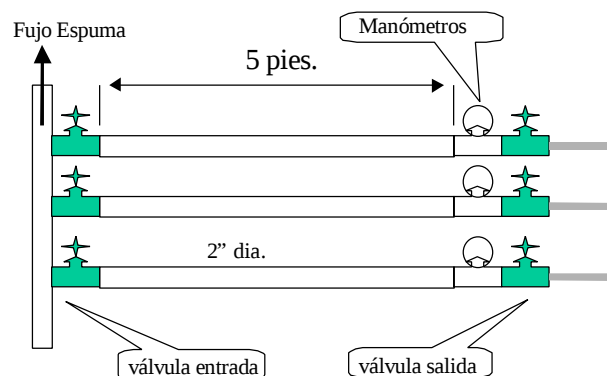


Fig. 3.- Diagrama de toma muestras en línea.

Tabla 1: Propiedades de las muestras de cemento espumado obtenidas de la celda y de los toma muestras.

Muestra	Dens. (lpg) (1)	Dens. (lpg) (2)	Resist. Comp. (psi)	Modulo de Young (psi)	Deformación a máx. carga (%)	Deformación Última (%)	Energía para romper (lbs-pulg)	Ka (MD)	K w (MD)
T	4.6	4.7	131	8547	3.7	11.3	9.6	80.80	4.42
M	5.4	5.4	158	11600	3.8	11.4	12.7	44.49	2.05
B	6.4	*	199	13860	2.9	14.3	12.9	46.65	5.05
S1	6.0	5.7	266	18000	4.0	12.1	18.6	*	*
S2	5.6	5.5	231	10690	4.0	11.2	17.8	*	*
S3	3.3	3.4	48	2944	5.3	11.8	3.4	*	*
LC	7.5	7.4	582	35270	4.0	12.2	33.9	*	*
CB	15.4	*	2196	43270	4.8	14.0	144.2	*	*

(1) Densidad basada en el peso y determinación de volumen.

(2) Densidad basada en el Principio de Arquímedes.

Ka = Permeabilidad al aire corregida con el factor klingenber (factor de deslizamiento)

Kw = Permeabilidad al agua.

- No evaluado.

Identificación de muestras:

T: Muestras de la celda anular a 30 pies de la zapata (sección del tope).

M: Muestras de la celda anular a 10 1/2 pies de la zapata (sección media).

B: Muestras de la celda anular a 3 pies de la zapata (sección de fondo).

S1: Muestra del primer toma muestra de 2 pulg instalado en la línea.

S2: Muestra del segundo toma muestra de 2 pulg instalado en la línea.

S3: Muestra del tercer toma muestra de 2 pulg instalado en la línea.

LC: Muestra de laboratorio preparada por Halliburton de lechada espumada de 9.0 lpg.

CB: Cemento base, curado a condiciones atmosféricas, 24 h @ 100 ° F , lechada de 15, 6 lpg (cemento clase "B" + agua).

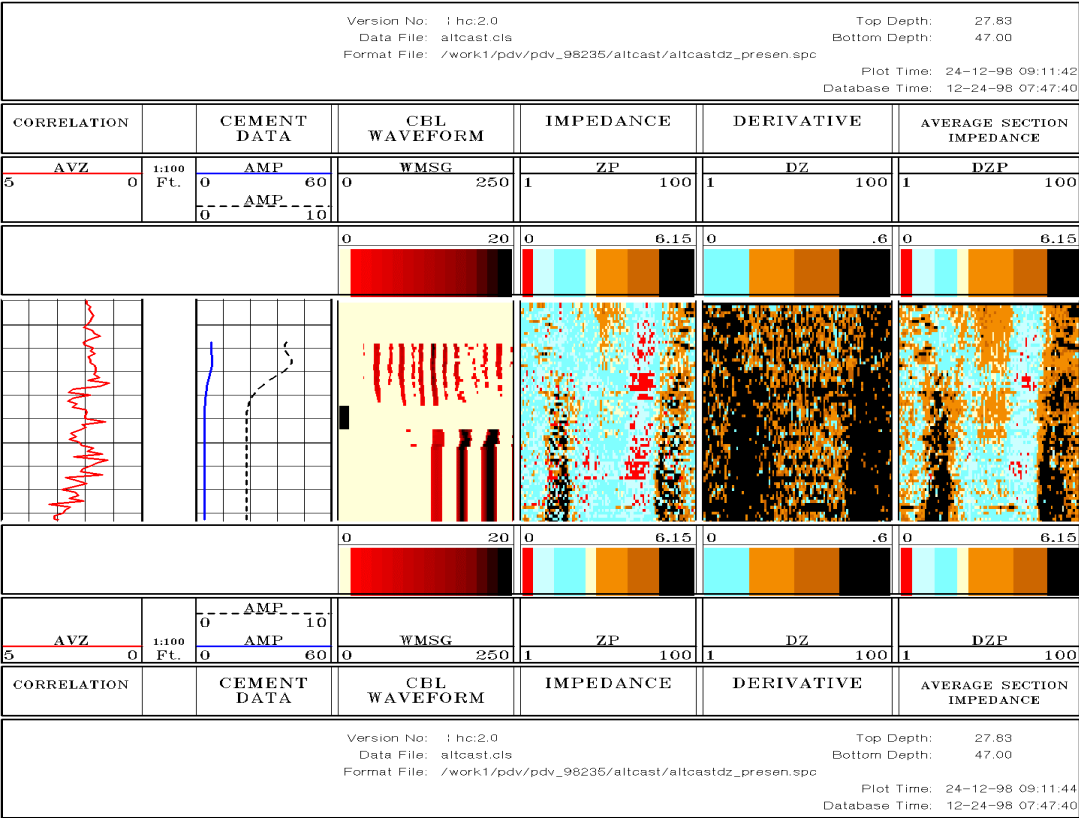


Fig. 6. Presentación Combinada de CBL/CAS

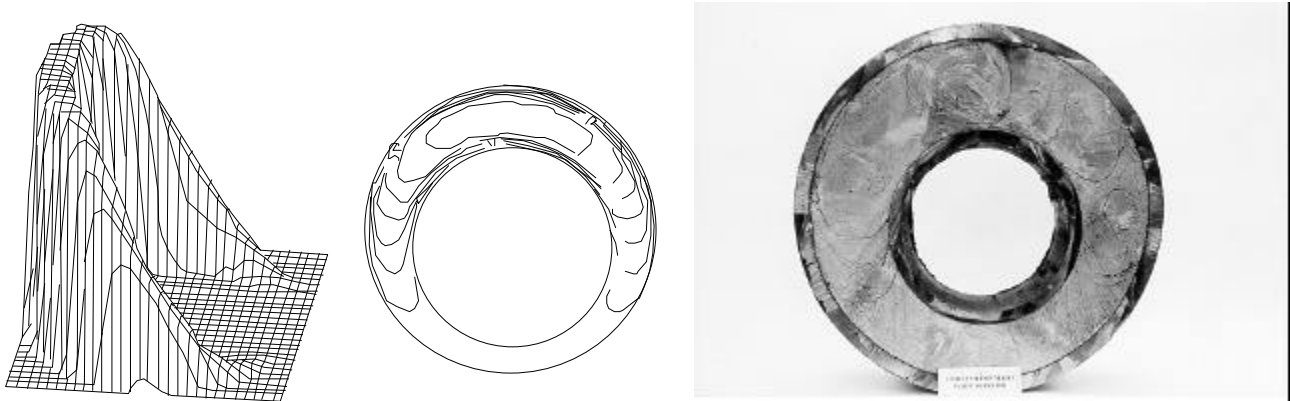


Fig. 7 - Comparación de la orientación de las "fisuras" con los perfiles de velocidad teóricos^[9].

Tabla 2: Propiedades de las muestras de cemento espumado confinadas en la tubería de 2 pulg durante el ensayo de automatización.

Muestra	Dens. (lpg) (1)	Dens. corregida (lpg) (2)	Resistencia compresión (psi)	Modulo de Young (psi)	Deformación a máx carga (%)	Deformación Ultima (%)	Energía para romper (lbs-pulg)	Ka (MD)	K w (MD)
BS1	7.95	9.4	1006	31480	3.3	12.3	52.7	1.88	1.58
BS2	9.01	10.5	1239	34980	3.5	6.5	42.2	0.30	0.18
BS3	5.94	7.4	420.8	18330	3.7	5.9	14.9	70.8	38.5

(1) Densidad basada en el principio de Arquímedes.

(2) Densidad corregida por un factor de 1,45 lpg que corresponde al efecto de secado en el horno (fue determinado experimentalmente)

Ka = Permeabilidad corregida con el factor de klingenberg (factor de deslizamiento).

Kw = Permeabilidad al agua.

* No evaluada.

Identificación de muestras:

BS1: Muestra del primer toma muestra de 2 pulg instalado en línea.

Concentración de N₂:150 pies³ estándar/bbl

Presión de la espuma: 700 psgi

BS2: Muestra del segundo toma muestra de 2 pulg instalado en línea.

Concentración de N₂ :300 pies³ estándar/bbl

Presión de la espuma: 1000 psgi

BS3: Muestra del tercer toma muestra de 2 pulg instalado en línea.

Concentración de N₂ :400 pies³ estándar/bbl

Presión de espuma: 1000 psgi

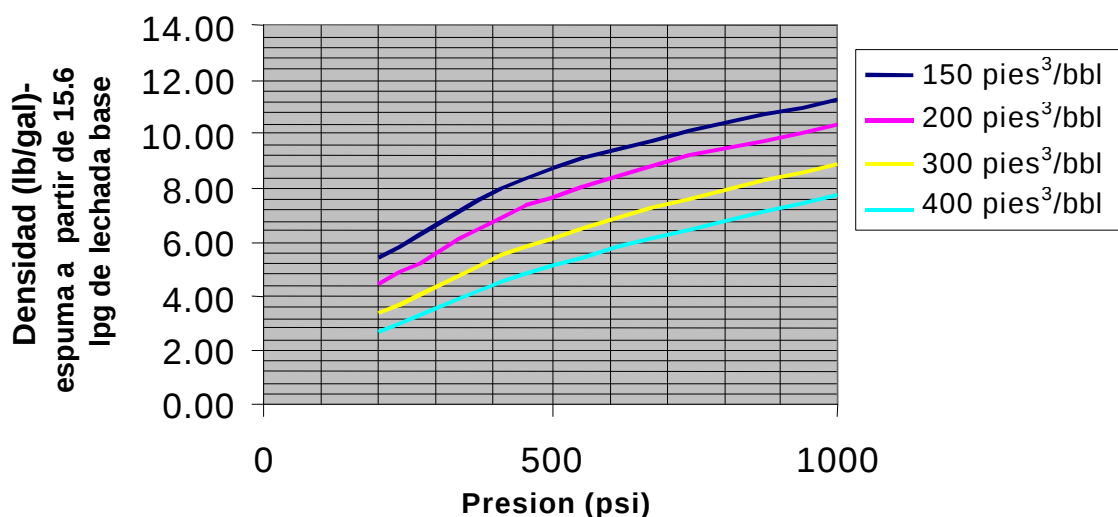


Fig. 8.- Comportamiento de la espuma durante la operación.

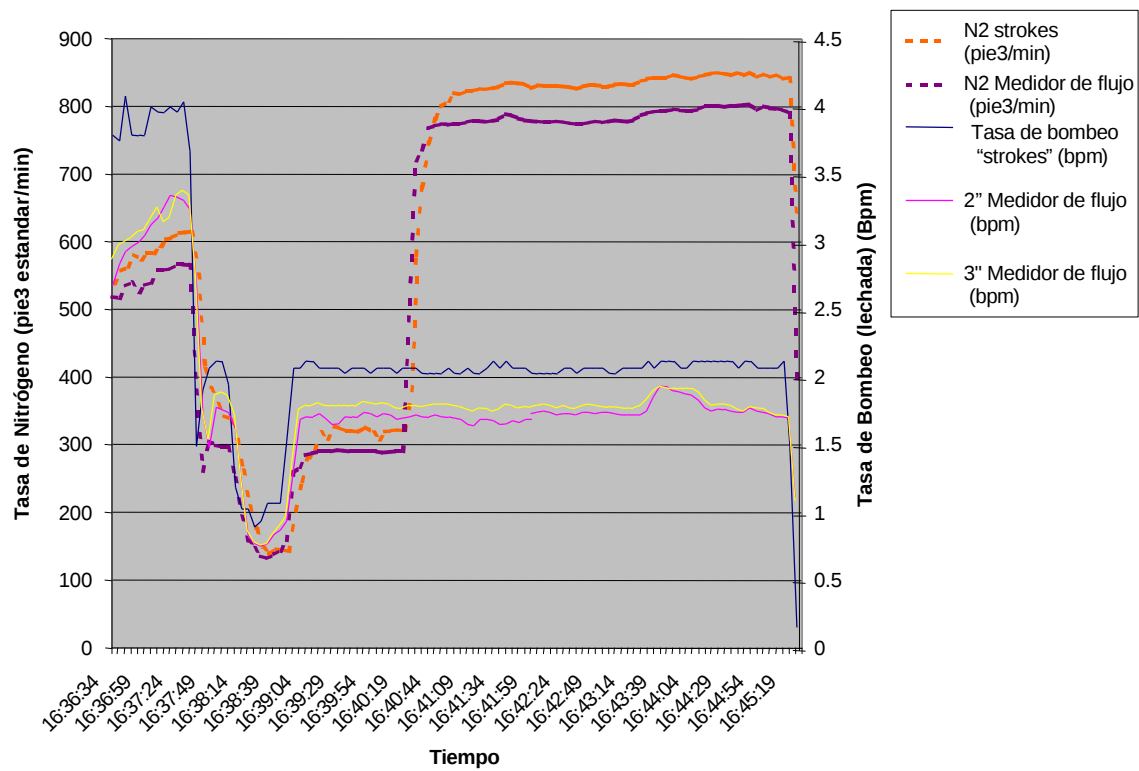


Fig. 9.- Datos de medidas de flujo .

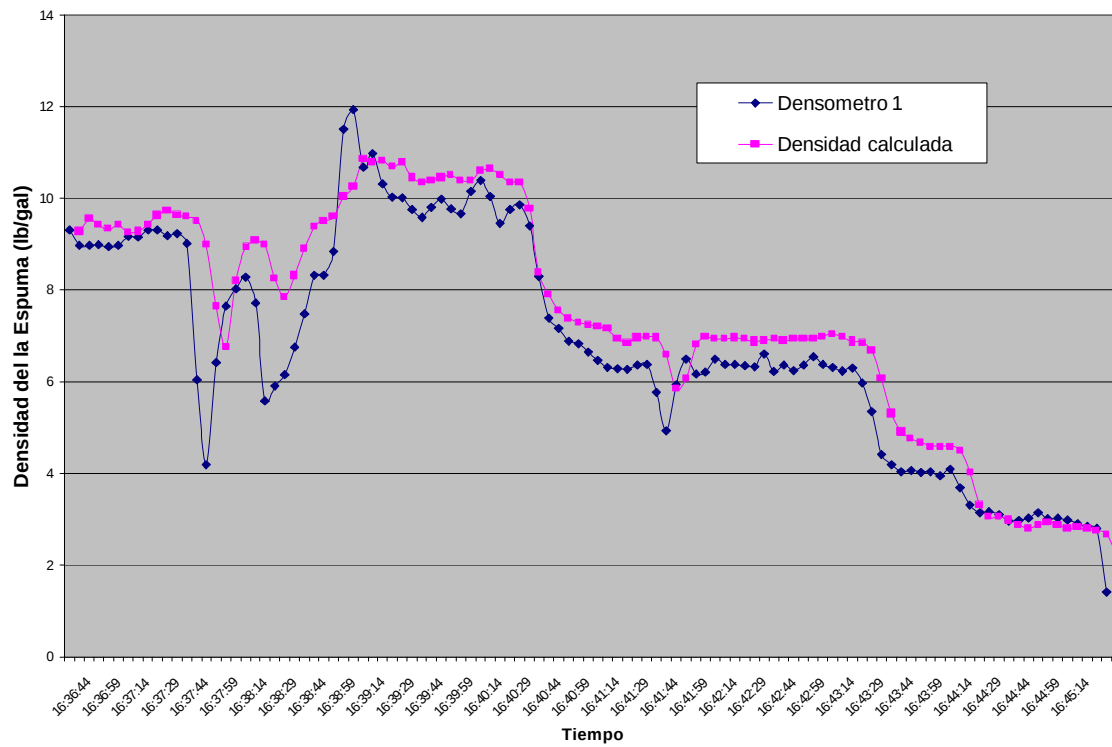


Fig. 10.- Comparación entre la densidad medida y la calculada.

Tabla 3. Información general de la cementación del pozo VLA-1344

Tipo de pozo	Vertical
Profundidad del conductor	260 pies
Objetivo primario	BLR-C4-C-5
Tipo de trabajo	Revestidor de producción
Tipo de revestidor	5 1/2 pulg.
Peso del revestidor	17 lb/pies
Cuello flotador	4800 pies
Hoyo	7 7/8 pulg. + 10% exceso
Densidad del lodo	7,8 lpg
Intervalo a cementar	Principal : 5000 - 6855 pies
Profundidad del trabajo	6855 pies
Temperatura estática	186°F
Temperatura circulante	105°F

Tabla 4. Propiedades del fluido de perforación recomendadas

TIPO	MICROBURBUJAS
INTERVALO	4000 pies - 6855 pies
Densidad (lpg)	7,5 - 7,9
Vis. Embudo (seg/1/4 gal)	80 - 90
Vis. Plástica (CPS)	< 12
Pto. Cedente (lbs / 100 pie ²)	> 35
Gel 10 seg.	< 28
Gel 10 min.	<36
Filtrado API	8 - 10
PH	9.5 - 10.5
Sólidos según retorta	< 8

Tabla 5. Posición final de los fluidos en el pozo.

Fluido	Volumen (bbl)	Llenado del anular (pies)	Tope del fluido (pies)
Fluido del pozo (microburbujas 7,8 lpg)	0,0	4217,6	0,0
Preflujo (agua)	30	789,0	4217,6
Cemento espumado	80	1848,3	5006,7

Tabla 6. Propiedades de los fluidos bombeados durante la cementación.

Etapas	Fluido	Densidad (lpg)	Caudal (bpm)	Volumen (bbl)
1	Fluido de Perforación (microburbujas)	7,80	5,00	0,0
2	Preflujo (agua)	8,33	5,0	30
3	Lechada espumada	8	3,0	50,0
4	Lechada cola *	16,0	3,0	2,0
5	Agua del lago	8,40	6,00	135,0
6	Agua del lago	8,40	2,00	23,4

* Lechada base sin N₂

Tabla 7.- Balance del fluido de desplazamiento

Descripción del fluido	Volumen (bbl)	Volumen acumulativo (bbl)
Preflujo	30	30
Cemento espumado en el anular	70,5	100,5
Lechada de cemento base	2	102,5
Desplazamiento	160,4**	262,9
Retorno de lodo	-270	- 7,1

**Lectura del flujometro 2 pulgadas, menos 1 bbl de retorno