

Introducción de una nueva metodología para la evaluación de cementaciones en condiciones complejas: caso cemento ultraligero del sur de México

Marco A. Martínez Castañeda

marco.antonio.martinezca@pemex.com

Coordinación Técnica de Intervenciones a Pozos, Pemex

Iván Pérez Hernández

ihernandez10@slb.com

Roberto M. Venegas Mora

rvenegas@slb.com

José A. Soto Valencia

jsoto24@slb.com

Neil Sookram

sookramn@slb.com

Schlumberger

Información del artículo: recibido: mayo de 2016-aceptado: junio de 2016

Resumen

El cemento contenido en el espacio anular de un pozo petrolero proporciona aislamiento, protección contra fluidos corrosivos y soporte para la misma tubería. Una buena cementación se considera una de las barreras principales para asegurar la integridad del pozo, reduce los riesgos de accidentes o fugas de fluidos, y ayuda a prolongar la vida productiva del pozo al evitar la canalización detrás de la tubería de revestimiento (TR) de fluidos no deseados. Como una práctica estándar en la industria, registros para evaluar la calidad de la cementación forman parte de la toma de información básica dentro de los programas de perforación y terminación, y a veces un requisito de las agencias regulatorias.

Las condiciones actuales en muchos campos de la Región Sur de México presentan grandes retos para los trabajos de cementación. Estas condiciones incluyen presiones bajas en campos maduros, yacimientos fracturados, pozos profundos con alta desviación, diámetro de barrena reducido, ventanas operacionales limitadas, entre otras, características todas que hacen más difíciles las cementaciones de TR, su evaluación correcta. Sin embargo, estas condiciones adversas resultan en el uso de procedimientos o lechadas de cements de vanguardia que son muy difíciles, si no imposibles, de evaluar con técnicas convencionales, como registro sónico CBL-VDL o ultrasónico convencional.

En este trabajo se explora la aplicación de una nueva medición, la atenuación flexural del cemento detrás del revestimiento, incorporada en un registro ultrasónico de última tecnología, para evaluar la cementación de un pozo de la Región Sur. Aunado al análisis del aislamiento en el espacio anular, el análisis de los ecos de la onda flexural que emite la herramienta permite obtener información adicional sobre la configuración de la terminación y centralización de las tuberías de revestimiento, una pieza crítica en la preparación del pozo para lograr una buena cementación. En el análisis se introduce un nuevo flujo de trabajo para analizar la atenuación flexural que permite una evaluación más robusta que la que ofrecen los métodos tradicionales.

El pozo bajo análisis presenta condiciones adversas múltiples, tales como formaciones rápidas, cemento ultraligero, contaminación de la lechada, doble tubería, y en algunas zonas, tubería descentralizada y agujero fuera de calibre, condiciones con las cuales los registros sónico y ultrasónico convencionales no consiguen resultados confiables. A partir de la metodología empleada, se logró obtener una evaluación completa y representativa sobre la calidad de la cementación del liner de explotación, la principal zona de interés. Los resultados de la evaluación de cementación fueron

de utilidad para el diagnóstico final del pozo. Se logró confirmar la validez de esta nueva medición y metodología para analizar los registros de cementación en pozos con cementos ligeros que presentan condiciones adversas.

Palabras clave: Evaluación de cemento, condiciones complejas, registro de cementación, registro ultrasónico, integridad de pozo, cemento ultra ligero.

Introduction of a new methodology for cement evaluation in complex conditions: ultralight case study in the south of Mexico

Abstract

Cement behind casing provides zonal isolation, protects the casing against corrosive fluids and supports the pipe. A good cement job is considered to be one of the main elements in assuring well integrity and helps to reduce the risk of accidents or fluid leakages, as well as in prolonging the productive life of the well by reducing undesired fluid channeling behind casing. As a standard practice in the industry, cement evaluation logs are usually included in drilling and completion programs, and are sometimes an important part of the requirements of regulatory agencies.

The actual conditions in many fields in the South Mexico region, are considered major challenges for successful cementing operations. These adverse conditions include low pressure reservoirs in mature fields, fractured reservoirs, deep wells with high deviations, reduced bit sizes, narrow operational windows, etc. All of these characteristics make cementing jobs very difficult and also create problems for proper cement evaluation. Cementing casings in these complex conditions rely on the usage of new technology cements that are difficult to evaluate, and in some cases impossible, with conventional techniques such as sonic logs (CBL-VDL) or standard ultrasonic logs.

In this article the application of a new measurement to evaluate cement condition in a South Mexico well is presented. This measurement of flexural attenuation is incorporated in an advanced ultrasonic logging tool to assist in the identification of the state of the annulus material. The analysis of the third interface echoes of the flexural wave, also provides additional information on the casing centralization in the well, which is a critical part of the well preparation to improve the probability of a successful cement job. A new workflow is introduced in the article, in which flexural attenuation analysis is used to provide a more reliable cement evaluation as compared with traditional methods, due to the robustness of the measurement.

The case study shows multiple adverse and complex conditions such as: fast formation, ultralight cement, slurry contamination, casing overlap, non-concentric casings, open hole caliper with washouts, etc. All of these conditions affect the conventional sonic and ultrasonic logs, and result in unreliable measurements. The cement evaluation was done completely using this new methodology, in the main zone of interest behind the production liner.

In this case the methodology to analyze ultralight cement conditions even in complex and adverse conditions was validated and confirmed. The results of the cement condition helped to provide a proper diagnosis of the zonal isolation in the well.

Keywords: Cement evaluation, complex conditions, cement log, ultrasonic log, well integrity, ultralight cement.

Introducción

Dentro de la Región Sur de México se encuentra el campo en estudio con pozos productores de aceite y gas. Como parte de la delimitación del campo, las nuevas localizaciones requieren un análisis completo, principalmente en sus etapas finales con posibilidades de contener hidrocarburos. Las condiciones particulares del yacimiento presentan la necesidad de incluir cementos ligeros en su diseño. Las presiones bajas en la formación y la posibilidad de pérdidas, incorporan una problemática adicional; es por esto que el diseño de la cementación es importante para evitar problemas durante la ejecución del mismo.

La evaluación de la cementación apoyada principalmente en el registro de cementación, intentará responder las siguientes preguntas:

¿Se tiene presencia de cemento en el espacio anular?, ¿Se puede justificar el aislamiento hidráulico una vez que el pozo se encuentre en producción?, ¿El cemento representa una barrera física suficiente para la integridad del pozo?, ¿Se considera necesario un trabajo de reparación para lograr condiciones óptimas de aislamiento? La definición a estos cuestionamientos, permitirá evaluar condiciones óptimas previas a la vida productiva del pozo.

El registro sónico CBL-VDL (Cement Bond Log – Variable Density Log) por sus siglas en inglés, es la herramienta comúnmente empleada en la industria para evaluación de la cementación. Su desempeño ideal se basa en condiciones controladas, como lo son: cemento de densidad e impedancia acústica convencionales, presencia de formaciones que no sean consideradas “rápidas” ($dt < 57$ [us/ft]), una sola TR centralizada, conocimiento de las propiedades acústicas del fluido, ausencia de microanillo, etc. La desviación con respecto a estas condiciones ideales disminuye la confiabilidad del registro e interpretación.

Como una mejora a la evaluación, se incorpora en la industria el registro ultrasónico convencional que realiza mediciones de impedancia acústica del material contenido en el espacio a través de la tecnología de la medición del decaimiento de pulsos ultrasónicos. La calidad del registro depende principalmente del tipo de fluido dentro del pozo y la selección de valores de referencia de impedancia acústica para definir entre líquido, sólido o gas. Este tipo de registros ayudan ampliamente a presentar panoramas representativos en presencia de canales, formaciones rápidas, doble tubería y microanillo líquido; sin embargo, presentan incertidumbre con cementos ligeros y/o contaminados.

Desarrollo

El objetivo de este estudio se centra en la obtención de un diagnóstico representativo de la cementación en el liner de explotación de 5”, tomando en cuenta las condiciones de pozo, formación y tipo de cemento empleado. Es vital la discretización entre material fraguado de baja impedancia y la presencia de líquido o gas en el espacio anular.

El valor de impedancia acústica del cemento fraguado sin contaminación, es decir, bajo condiciones de laboratorio, indica un valor bajo de 2.84 MRayl. En escenarios realistas, la contaminación de la lechada en ocasiones comienza desde el primer viaje dentro del pozo. La finalidad de introducir el análisis de la onda flexural se debe a su capacidad para detectar el material de baja impedancia que se considera como un sólido fraguado sin la dependencia directa de su valor de impedancia acústica.

La onda flexural se genera a través de un arreglo entre emisor y receptores de ondas ultrasónicas de alta frecuencia, que excitan la tubería en su modo flexural; el grado de atenuación se logra calcular gracias al arreglo de receptores cercano y lejano a partir de la fórmula presentada en la **Figura 1**.

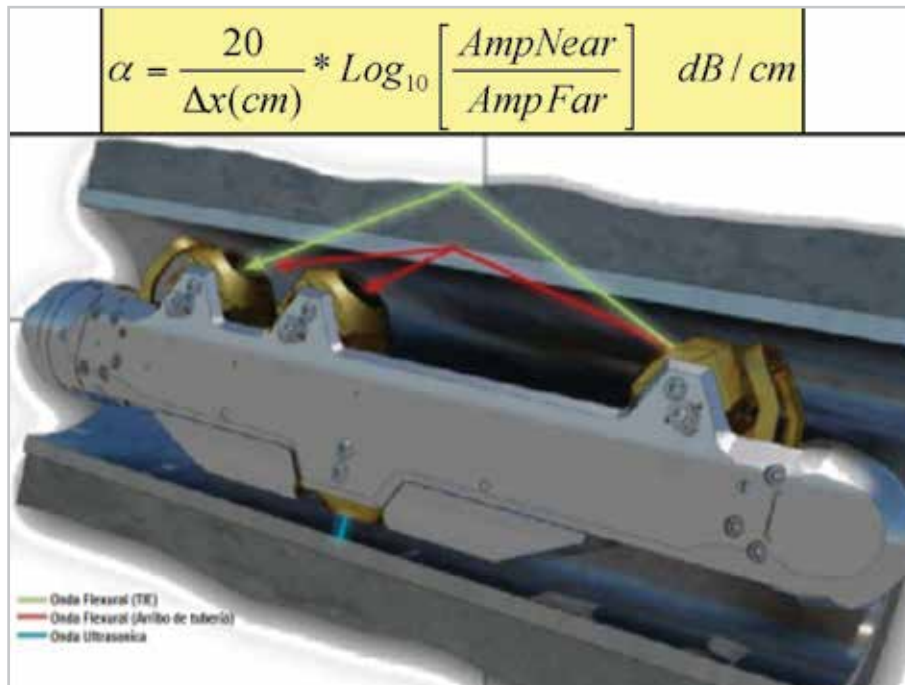


Figura 1. Arreglo de transductores para medir atenuación flexural.

Considerando la relación que se ha estudiado existe entre la atenuación flexural y la impedancia acústica, se puede obtener un mapa de sólido líquido y gas, (SLG), donde se obtiene una clasificación entre estos tres materiales que

depende de ambas mediciones. El mapa SLG es un modelo en 2D que tiene esas tres clasificaciones únicas, englobando dentro de los sólidos los tres posibles escenarios del cemento convencional, ligero y contaminado fraguado, **Figura 2**.

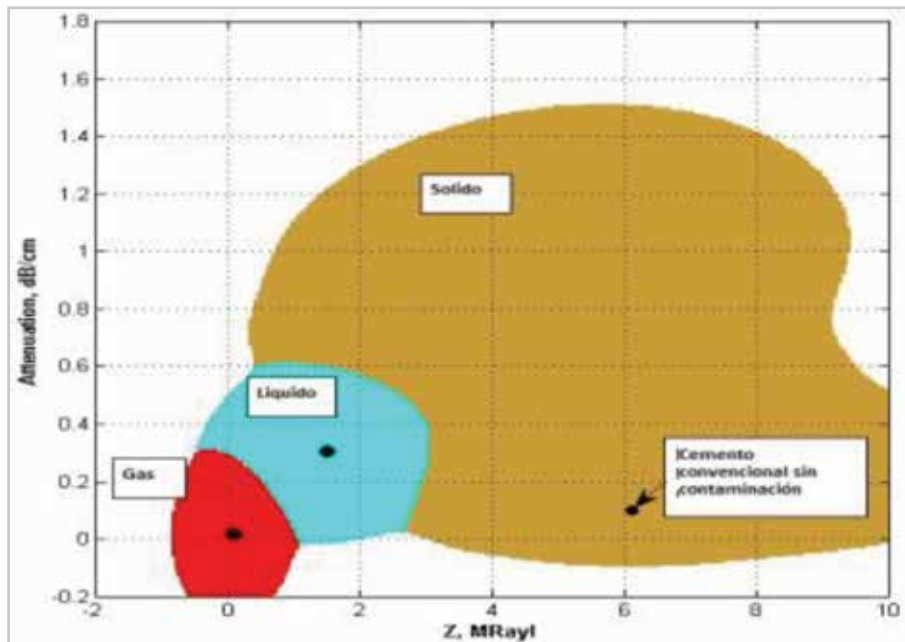


Figura 2. Mapa SLG. Modelo 2D de la relación entre impedancia acústica y atenuación flexural.

Debido a que el tipo de yacimiento se considera como naturalmente fracturado, es importante definir con anticipación las zonas con fracturas potencialmente abiertas o corredores posibles de fracturas, así como cambios de litología que indiquen el riesgo de pérdidas.

El registro caliper indica zonas de agujero descubierto, que presentan variaciones puntuales que pueden generar un bombeo ineficiente.

Al realizar el registro de cementación se incorpora un registro convencional CBL-VDL en la sarta de herramienta, combinada con una herramienta ultrasónica de última tecnología que incorpora la medición de la atenuación flexural.

Considerando solamente las mediciones del registro ultrasónico convencional combinado con registro sínico CBL-VDL, se tiene que la presencia de formaciones rápidas genera incertidumbre al registro sínico, que tampoco se considera válido en zonas de doble tubería. Mientras que para el registro ultrasónico la respuesta clasifica una alta presencia de material contaminado y líquido, esta

clasificación genera incertidumbre adicional a la condición de la cementación y no es posible definir si la lechada ligera y/o contaminada se encuentra fraguada o líquida. Bajo este escenario el aislamiento hidráulico estará en duda, **Figura 3**.

Al contar con la medición adicional de la atenuación flexural, es posible obtener el mapa SLG donde el modelo 2D presenta mayor certidumbre con respecto al ultrasónico convencional. El mapa SLG presenta en ocasiones cobertura de material sólido cercano a 100%, revelando que el cemento ligero observado como contaminado al momento del registro se encontraba fraguado, aspecto muy importante para probar condiciones seguras de operación.

El principal objetivo del trabajo presente es definir las condiciones de cementación frente a la zona de interés, o ser en la zona de yacimiento, donde el porcentaje de material líquido aumenta en el mapa SLG. Sin embargo, la atenuación flexural no es exactamente el comportamiento de un líquido, **Figura 3**. Es por eso que se requiere definir con mayor certidumbre este intervalo y las posibilidades de cemento que generen sello, por arriba y debajo de la zona a disparar.

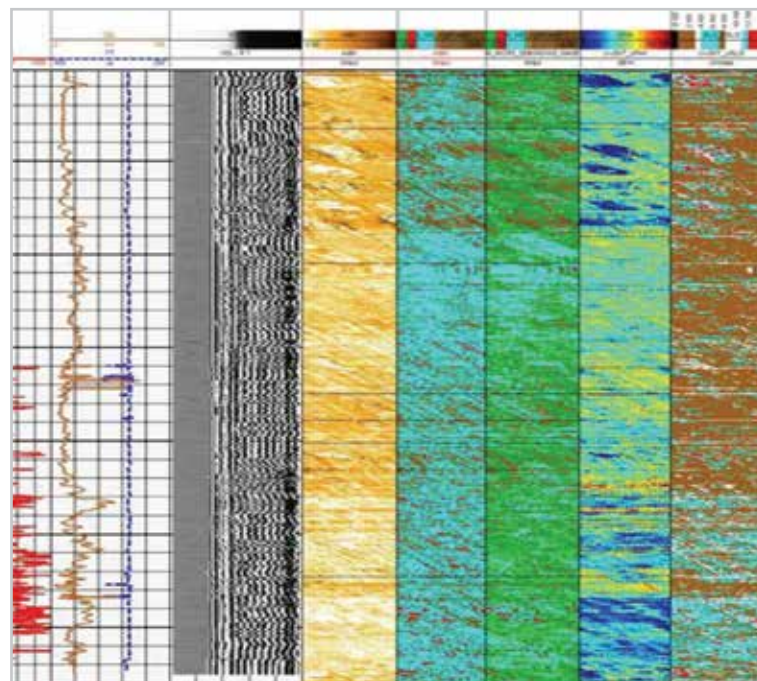


Figura 3. Registro compuesto CBL-VDL, mapa de impedancia, mapa de cemento del ultrasónico convencional, atenuación flexural y mapa SLG.

Nueva metodología

La nueva metodología propuesta en este trabajo, se desarrolla a partir de la capacidad de la atenuación flexural de diferenciar cemento de baja impedancia.

Considerando que en el caso de líquidos, la pérdida de energía se presenta como una onda compresional mientras que los cementos convencionales o de alta impedancia acústica la pérdida de energía se da a través de una onda de cizalla. El diferenciador se presenta con los cementos ligeros que pierden energía a partir de una onda compresional y

una de cizalla; por lo tanto, el grado de atenuación es mayor en los cementos ligeros. Al ser una medición que afectase por descentralización de herramienta, tipo de fluido dentro del pozo y depende solamente del material detrás de la TR, se considera una medición robusta para la identificación de materiales ligeros.

Estudiando la relación que existe entre la impedancia acústica y la atenuación flexural en el modelo 2D del mapa SLG, se puede identificar una zona donde se tiene una relación directa antes del punto crítico, **Figura 4**.

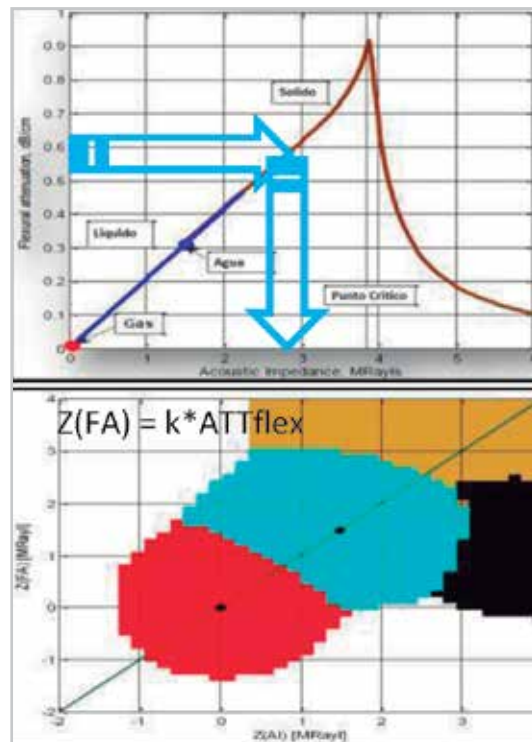


Figura 4. Cálculo de la impedancia acústica a partir de la atenuación flexural en zonas con relación lineal entre ambas propiedades.

La metodología propuesta comienza con la adquisición de los datos de impedancia acústica y atenuación flexural. Este es el primer escenario para identificar la posibilidad de existencia de cemento ligero a partir del mapa SLG.

Posteriormente con el valor de atenuación flexural medido por el arreglo de emisor-receptores, es posible identificar el comportamiento del cemento ligero y obtener el valor de impedancia acústica que proviene de la atenuación

flexural $Z(FA)$, usando la relación directa que existe entre ambas mediciones. En el caso que la medición se presente a la derecha del punto de evanescencia, la clasificación es directa con el valor de impedancia acústica.

Empleando el nuevo valor de impedancia acústica $Z(FA)$, se realiza su clasificación dentro de un mapa de cemento, empleando los mismos umbrales de líquido-cemento y gas-líquido.

A partir de la determinación del mapa del cemento final, se puede observar un aumento del porcentaje en cemento ligero justo por arriba y debajo del intervalo de interés. Esto tiene una mayor correlación con el comportamiento de la atenuación flexural, **Figura 5**.

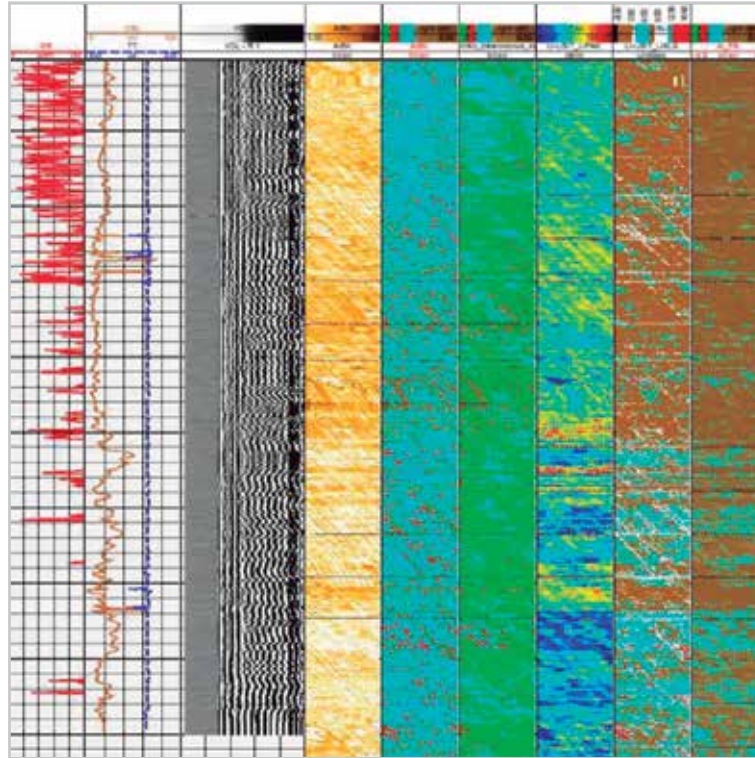


Figura 5. Integración de registros con el mapa de cemento a partir de la nueva metodología, (el último carril a la derecha indica mayor certidumbre en la evaluación del cemento ligero).

Debido a que la profundidad de investigación de la atenuación flexural es mayor, es posible definir la localización del cemento en el espacio anular, o incluso la formación en el caso de zonas con una sola tubería. Esto es de ayuda para determinar la centralización del TR. Es posible concluir que las zonas con mejor centralización usualmente presentaron una mayor facilidad para la limpieza y colocación de la lechada, mejor calidad de cemento y zonas con mala centralización de la TR, la limpieza no siempre se logra y la lechada presenta contaminación e incluso no consigue posicionarse en el reducido espacio anular. La posición de los centradores en el programa al bajar liner se puede correlacionar con los resultados del registro. Posteriormente se realizó una prueba de inyektividad con trazadores radioactivos, que indicó sólo inyección en la zona disparada sin movimiento aparente a través del espacio anular.

Conclusiones

La evaluación de cementación se considera primordial para definir la integridad del pozo. En el caso de estudio, las condiciones de cemento ligero, formaciones rápidas y fracturadas, agujero fuera de calibre, bajas presiones y contaminación de lechadas, presentaron retos adicionales para dicha evaluación.

La integración de resultados de las herramientas empleadas conjuntamente con la información del pozo, presenta los hallazgos siguientes: se define la zona de cemento fraguado ligero y una mejor cobertura para las zonas de mejor centralización de la TR y estabilidad de agujero. En la zona de interés se presenta cemento ligero y cemento contaminado, con alta posibilidad de sello hidráulico por

arriba y por debajo de la zona de yacimiento, el análisis del mapa de cemento a partir de la atenuación flexural y la nueva metodología genera mayor certidumbre para las condiciones presentadas en este trabajo, **Figura 6**.

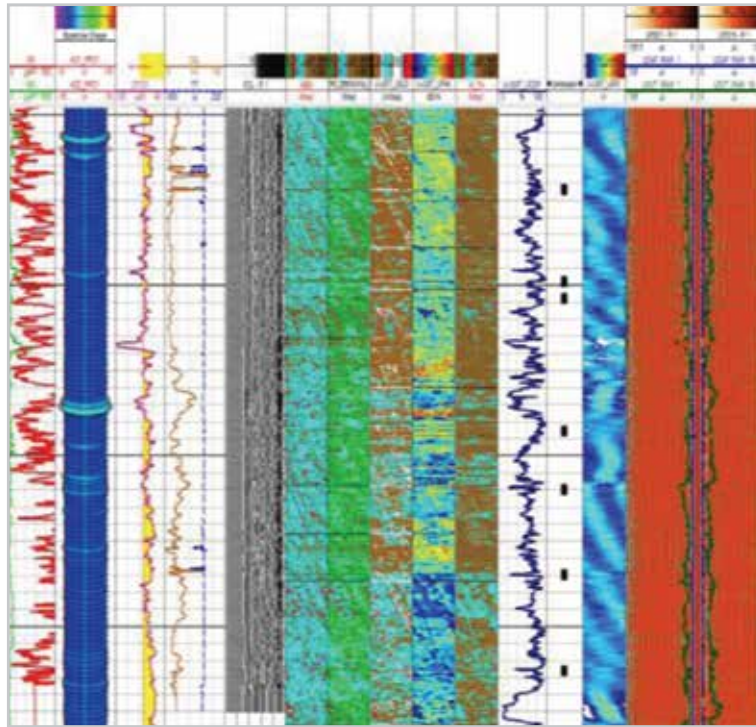


Figura 6. Integración de información de registros en agujero descubierto con los registros de cementación CBL-VDL, ultrasónico convencional, atenuación flexural y centralización del revestimiento.

La nueva metodología puede aplicarse en condiciones de cemento ligero; sin embargo, el empleo de la atenuación flexural para evaluación de cemento, no se limita a estas condiciones, ya que es una herramienta robusta para definir tipo de material con presencia de contaminación, así como la evaluación de la tercera interfaz para definir centralización del revestimiento.

Referencias

Bratton, T., Viet Canh, D., Van Que, N. et al. 2006. La Naturaleza de los Yacimientos Naturalmente Fracturados. Oilfield Review (otoño): 4-25. http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish06/aut06/naturally_fract_reservoirs.pdf (acceso el 13 de marzo de 2015).

Hamawi, M., Masood, R., Al-Kindi, Z. et al. 2007. A Pioneer Ultrasonic Technique that Enhances Light Weight Cement Evaluation and Allows Cement Sheath Thickness Imaging. SPWLA Middle East Regional Symposium, Abu Dabi, Emiratos Arabes Unidos, abril 15-19. SPWLA-MERS-2007-II.

Van Kuijk, R., Zeroug, S., Froelich, B. et al. 2005. A Novel Ultrasonic Cased-Hole Imager for Enhanced Cement Evaluation. Artículo presentado en la International Petroleum Technology Conference, Doha, Qatar, noviembre 21-23,. IPTC-10546-MS. <http://dx.doi.org/10.2523/IPTC10546-MS>.

Semblanza de los autores

Marco A. Martínez Castañeda

Maestro en Ingeniería Petrolera por la Universidad Nacional Autónoma de México, experto en terminaciones de pozos y diseño de cementaciones, trabaja en Pemex desde 1988. Actualmente labora en el área de Coordinación técnica de intervenciones a pozos.

Iván Pérez Hernández

Es el Líder de Producción y Well Integrity en Data Services para México y Centro América. En 2008 obtuvo su grado de licenciatura como Ingeniero Petrolero en la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha estado en Schlumberger por más de seis años teniendo posiciones técnicas dentro del Centro de procesamiento en la Región Sur de México. Ha participado en congresos nacionales e internacionales.

Roberto Martín Venegas

Ingeniero Petrolero egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México en el año 2009. Perteneció al Grupo multidisciplinario de productividad de la Coordinación de diseño de explotación Tampico, como Ingeniero de producción. Actualmente es parte del equipo de producción para la compañía Schlumberger, dentro del área de data services en la Región Sur de México. Ha participado en congresos nacionales.

José A. Soto Valencia

Es parte del equipo de producción para la compañía Schlumberger, dentro del área de data services en la Región Sur de México. En 2013 obtuvo su grado como Ingeniero Petrolero en la Universidad Autónoma de Guadalajara. Ha participado en congresos locales de la AIPM.

Neil Sookram

Es el Domain Champion de Wireline para Producción y Well Integrity en México y Centro América. En 1996 obtuvo el grado de Maestría en el manejo integral de yacimiento en el Institut Français du Pétrole en París, Francia. Previamente había obtenido su grado de licenciatura como Ingeniero Eléctrico en 1987, en la University of the West Indies en Trinidad y Tobago. Ha estado con Schlumberger por más de 27 años, sirviendo en varias posiciones técnicas y operacionales en países del Norte y Sur de América. Actualmente es miembro activo de la SPE.