



APLICACIÓN DE SENSORES DISTRIBUIDOS DE FIBRA ÓPTICA (DFOS) EN EL MUNDO REAL

Alan Reynolds

Resumen

Esta presentación se centra en instalaciones permanentes desplegadas detrás del casing. Sin embargo, existen aplicaciones similares o paralelas para aplicaciones con CT y wireline/slickline. Cada una tiene su aplicación.

A menudo se habla de DFOS – sensado distribuido por fibra óptica –, se promueven sus ventajas, dónde puede usarse, y luego se explica la tecnología.

Los sistemas ópticos disponibles comercialmente actualmente ofrecen:

- Medidor puntual de presión y temperatura - OPTG
- Sensado distribuido de temperatura - DTS
- Sensado acústico distribuido – DAS
- Sensado distribuido de deformación - DSS

Las siguientes diapositivas presentan ejemplos reales, ya instalados, de DFOS y, según corresponda, cómo se ha utilizado. No se ha compartido información propietaria, pero se han eliminado los nombres de las compañías salvo cuando son de dominio público. Muchos de estos casos dieron lugar a publicaciones técnicas, que se referencian en las diapositivas siguientes.

HFTS #2 - Sitio de Prueba de Fractura Hidráulica Joint Venture

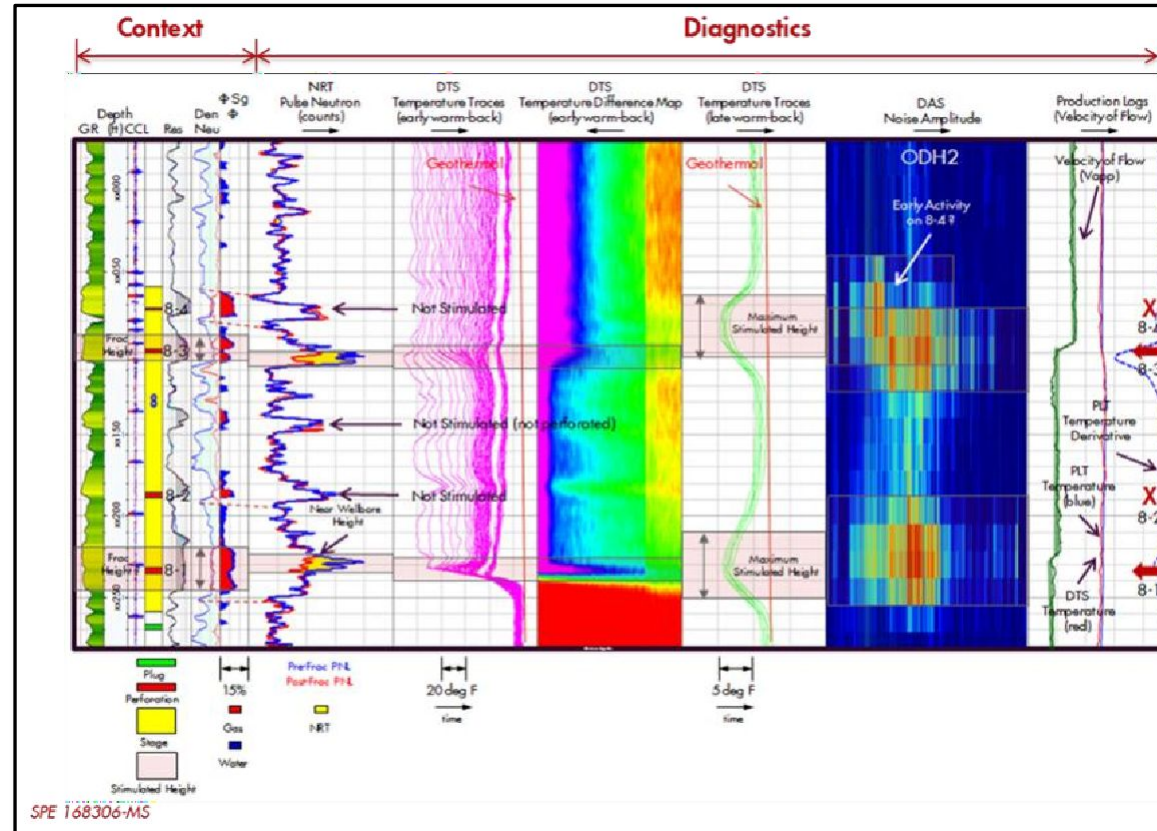
En la Cuenca Pérmica se perforó una serie de pozos, de los cuales 4 fueron instrumentados con fibra. Un pozo vertical de monitoreo y dos pozos horizontales; posteriormente se perforó un pozo inclinado de monitoreo después de la estimulación. Existen muchos artículos en la prensa especializada relacionados con este proyecto; el informe final puede leerse aquí. (<https://www.osti.gov/biblio/1907894>)

Todos los componentes DFOS disponibles comercialmente se utilizaron en estos pozos, proporcionando:

Monitoreo de cemento
Monitoreo de fractura, incluyendo
Distribución de apuntalante y agua a nivel de perforación
Evaluación de diseño de entrada limitada extrema
Aislamiento de etapas
Deslizamiento de tapones / técnicas de desvío
Pérdida por fricción en laterales largos / presión a nivel de perforación / etc.
Flujo detrás del casing y erosión
Retroalimentación al Frac Van sobre condiciones de fondo

Integridad del cemento
Flujo de retorno a nivel de perforación / retorno térmico
Comunicación entre pozos
Frentes de deformación / impactos de fractura
Build-up y variación asociada del ancho de perforación
Indicación de altura de fractura
Y mucho más...

HFTS #2 - Sitio de Prueba de Fractura Hidráulica - Joint Venture



HFTS #2 - Sitio de Prueba de Fractura Hidráulica - Joint Venture

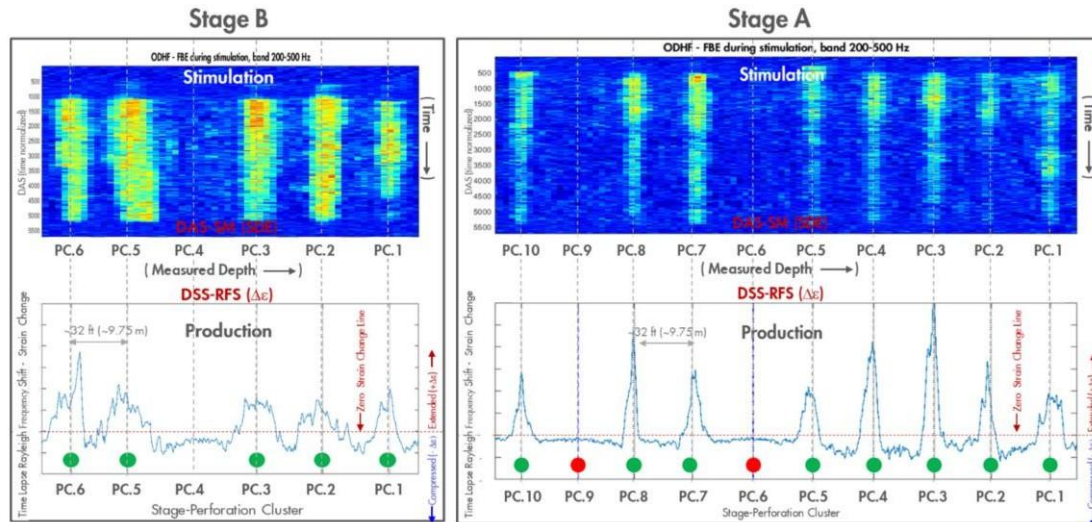


Figure 5. Comparison between DSS-RFS strain-change profiles during production shut-in and DAS acoustic intensity during stimulation for two stages. Stage A has 10 equally spaced perforation clusters and Stage B only has 5 clusters. Stage B was originally planned as 6 PCs stage, but PC 4 was skipped due to FO cable mapping uncertainties.

Figuras tomadas de URTeC: 5408

Nueva herramienta de diagnóstico de fracturas para no convencionales: sensado distribuido de deformación de alta resolución mediante desplazamiento de frecuencia Rayleigh durante la producción en Hydraulic Fracture Test 2

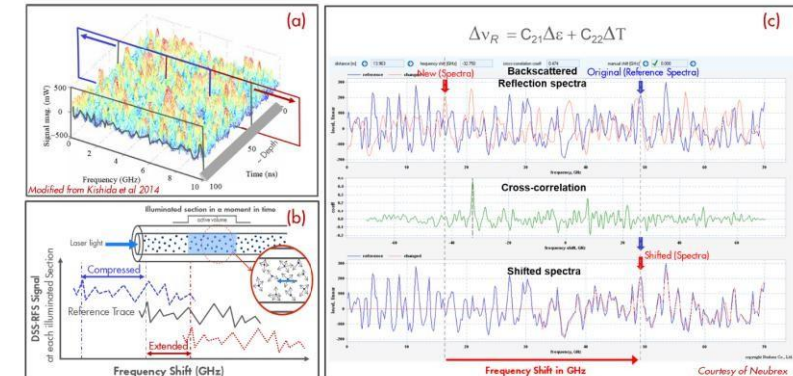


Figure 1. Illustration of Rayleigh Frequency Spectrum RFS. Conceptual response of along a fiber length (a) and for a single illuminated fiber segment (b). Example single spectra and cross-correlation workflow (c)

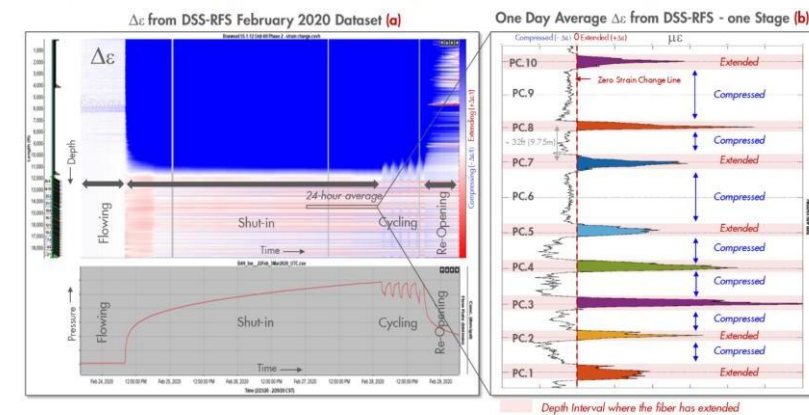


Figure 2a. Strain changes and downhole pressures acquired during shut-in and reopening during a test conducted in FO instrumented well in HFTS2. Figure 2b shows the 24-hour average strain-change response across a single stage with multiple clusters.

Vaca Muerta - Pozos de Petróleo No Convencionales

Un importante operador petrolero instaló 2 pozos horizontales largos en un pad de cinco pozos, en dos horizontes, para evaluar este gran y aún no completamente comprendido yacimiento en Argentina. Los resultados han sido publicados y presentados en URTeC y otros organismos profesionales. (Ref.: URTeC 4257497 y 4040072; también, SPE 217785-MS)

Todos los pads piloto que utilizan tecnología DFOS buscan lograr el mismo conjunto de beneficios que HFTS #2. Vaca Muerta no fue la excepción; sin embargo, también tuvo particularidades adicionales en términos de inestabilidad de formación. Por lo tanto, además de lo mostrado en la diapositiva anterior, se añadieron los siguientes aspectos:

- Monitoreo de amenazas de colapso del casing
- Monitoreo microsísmico de campo lejano
- Monitoreo microsísmico de campo cercano
- Identificación de “super-fracs”

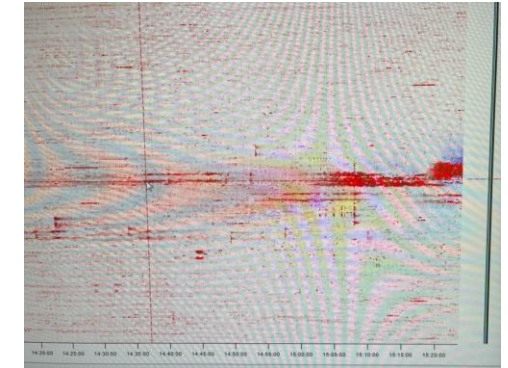
En ese momento, cuando Argentina ganó la Copa del Mundo (2022), ésta era la instalación DFOS de mayor supervivencia en Argentina, y posiblemente en Sudamérica.

Vaca Muerta - Pozos de Petróleo No Convencionales

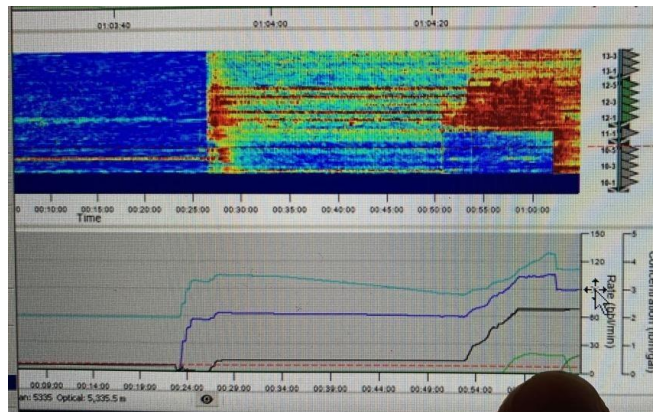


Un arreglo típico de monitoreo de fractura

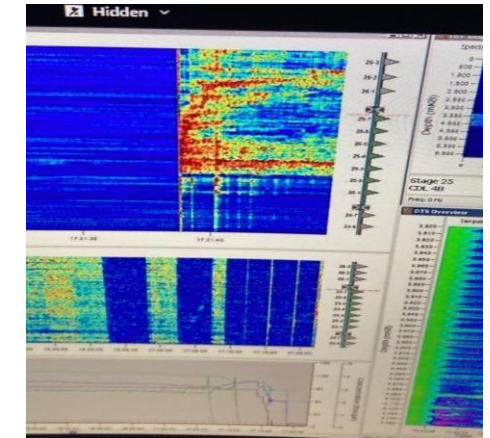
Una de las preocupaciones era la comunicación a través del espaciamiento entre pozos. Estos son datos LFDAS que muestran frentes de deformación que impactan el pozo instrumentado, con potencial de provocar colapso del casing.



Falla del tapón posiblemente causada por deformación del casing



Cemento deficiente que provoca flujo de apuntalante por fuera del casing



Quest - CCS - Piloto Original - Monitoreo de la Inyección

El CO2 se inyecta en tres pozos en ubicaciones cercanas a Scotford, Fort Saskatchewan, según el proceso. Hay un pozo microsísmico tradicional, pero los tres inyectores tienen instalado DFOS permanentemente en el casing. Estas instalaciones se han convertido en la referencia con la que se comparan otras instalaciones CCSU.

En todos los sistemas CCS/CCSU, el santo grial es la integridad del pozo y cómo monitorear cualquier fuga de CO2. El sistema requiere alta integridad y, en un entorno adverso al riesgo, se eligió DFOS para proporcionar la información requerida, y se legisló como requisito para el monitoreo de por vida del pozo.

DAS se utiliza para VSP con el fin de construir una imagen de la pluma de CO2 inyectada por debajo de la barrera impermeable

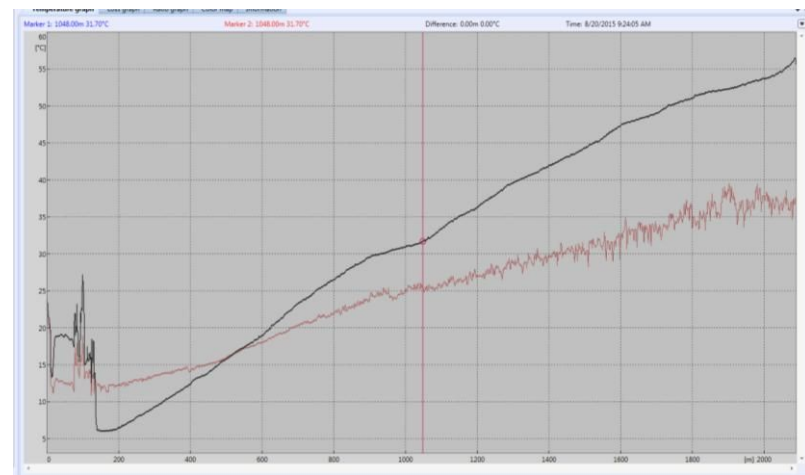
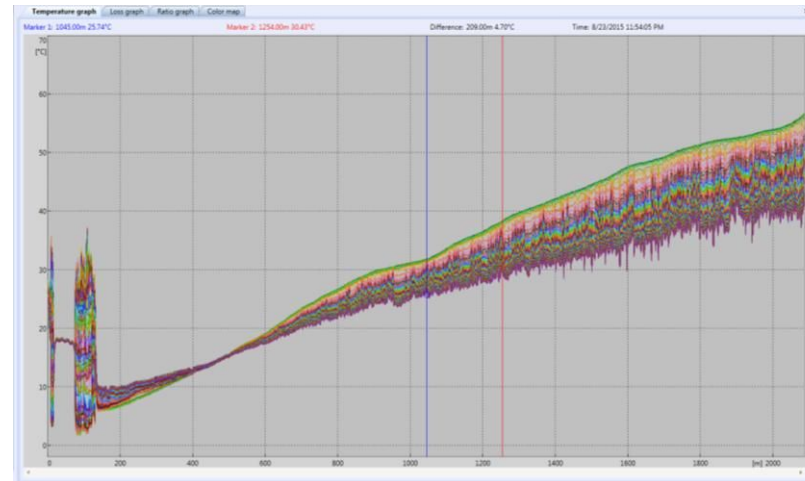
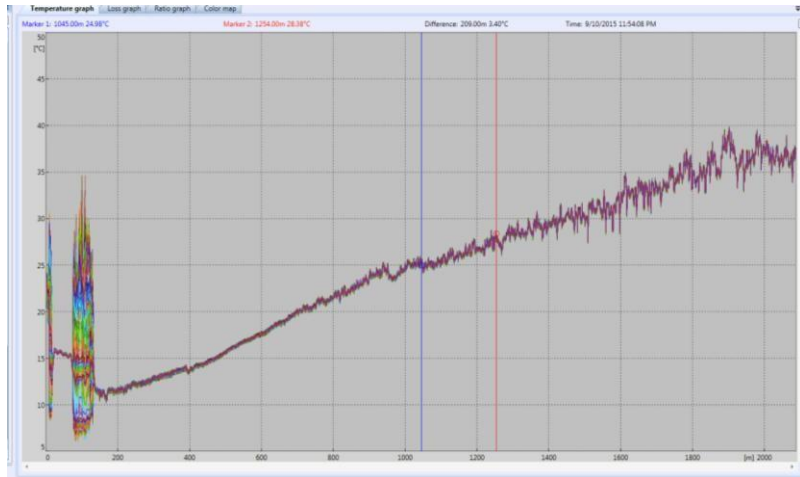
Medición periódica por campañas

DTS se utiliza para monitorear fluctuaciones de temperatura en fondo durante los ciclos de inyección y para detectar desviaciones respecto de los parámetros esperados, resaltando la integridad del pozo.

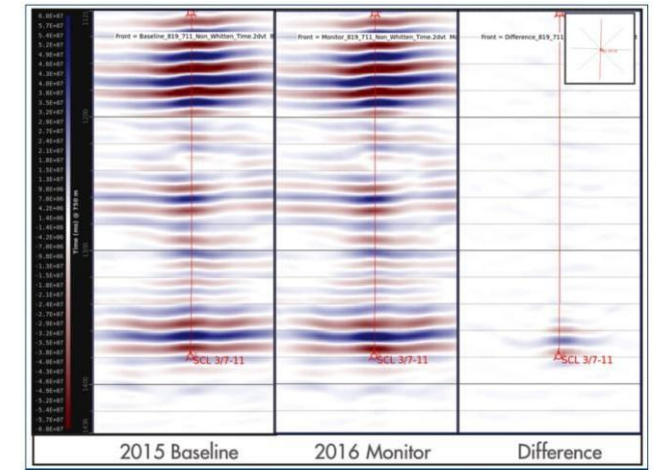
Medición continua 24/7

La capacidad de generar un informe y satisfacer a los reguladores de que el proceso cumple y de que la integridad del pozo se mantiene es clave para la continuidad operativa del sitio.

Quest - CCS - Piloto Original - Monitoreo de la Inyección



Inyección y retorno térmico de CO₂
Estos perfiles se monitorean para identificar diferencias que puedan indicar una fuga de CO₂
Hasta la fecha no se han detectado fugas



Uso de VSP DAS walk-away de lapsos de tiempo para monitoreo de la pluma de CO₂ en el proyecto Quest CCS

FORGE - Geotermia (250 °C) - Proyecto DOE

Llevar al límite gran parte del equipamiento comercialmente disponible de oil & gas no fue un desafío para DFOS. Se instalaron exitosamente tres cables, un hito para FORGE; todos calificados a 300 °C, incluido un medidor de presión/temperatura por fibra óptica comunicado al interior del casing, aunque calificado a 250 °C.

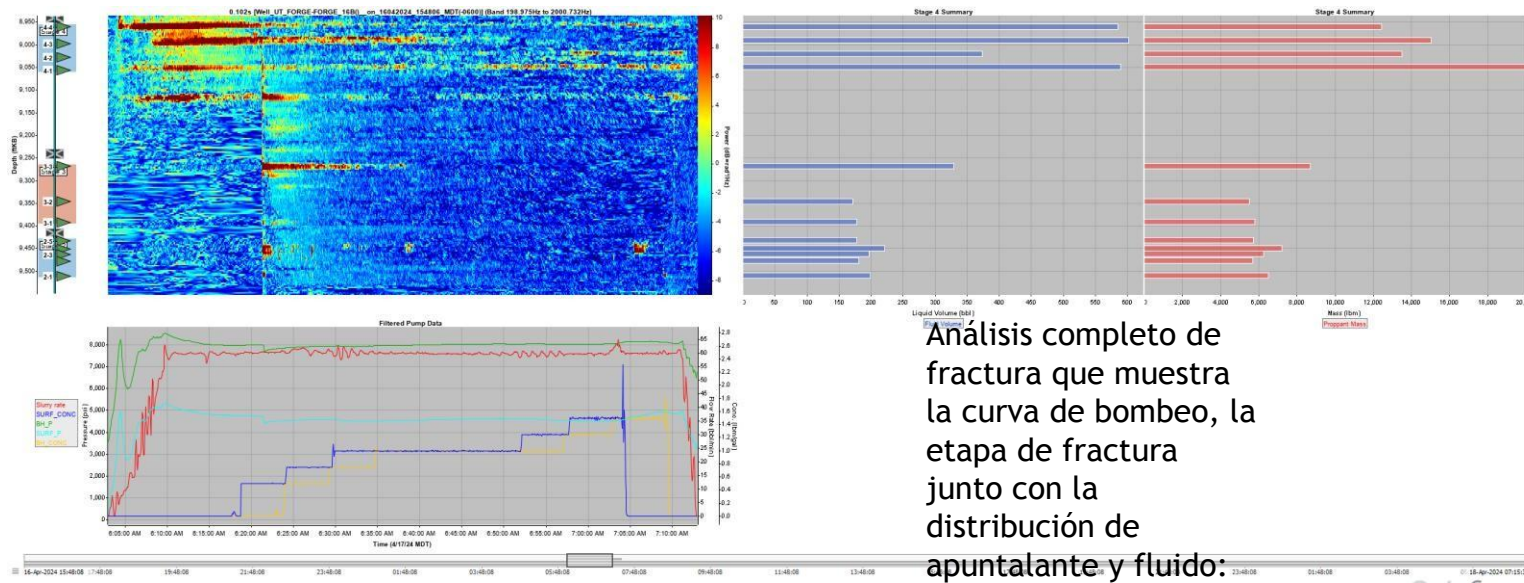
A diferencia de muchos otros pozos geotérmicos que operan a temperaturas menores, este pozo no depende de captar una fuente cálida de agua, sino que inyecta agua en un pozo, la hace pasar por fracturas hidráulicas y naturales en fondo, y recupera el agua calentada desde un segundo pozo.

Una vez más, se aplicó el conjunto completo de equipos DFOS, esta vez de una manera menos usual, lo que demuestra que no es la tecnología en sí, sino cómo se aplica. En un pozo típico plug and perf, la idea es que las fracturas entre pozos no se comuniquen. Para este proyecto, esa comunicación sí era necesaria. Esto se logró monitoreando frentes de deformación mediante DSS, mapeando su punto de incidencia sobre el pozo instrumentado y luego ajustando el espaciamiento de las cargas y la longitud de etapa para asegurar que esos puntos fueran perforados y garantizar la conectividad.

La fibra sobrevivió y posteriormente proporcionó datos invaluable durante la prueba de loop y en análisis adicionales del pozo.

FORGE - Geotermia (250 °C) - Proyecto DOE

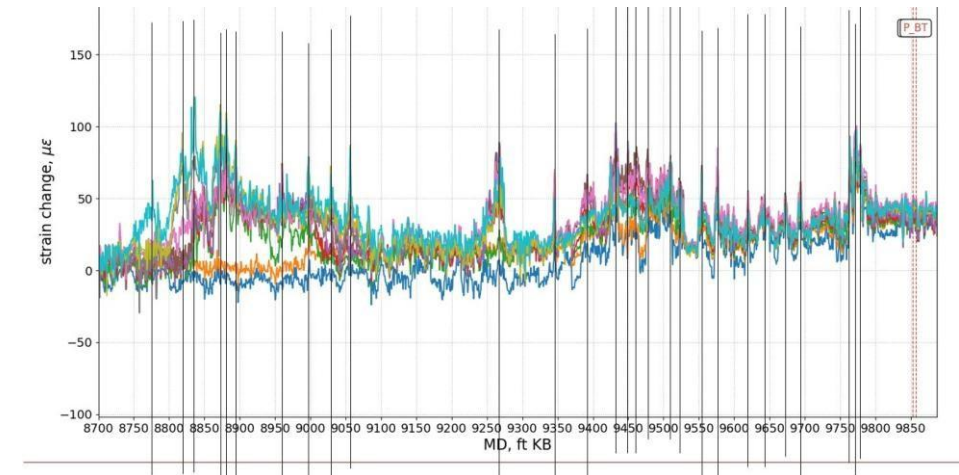
Tres líneas ópticas de alta temperatura siendo bajadas al pozo (RIH) en FORGE



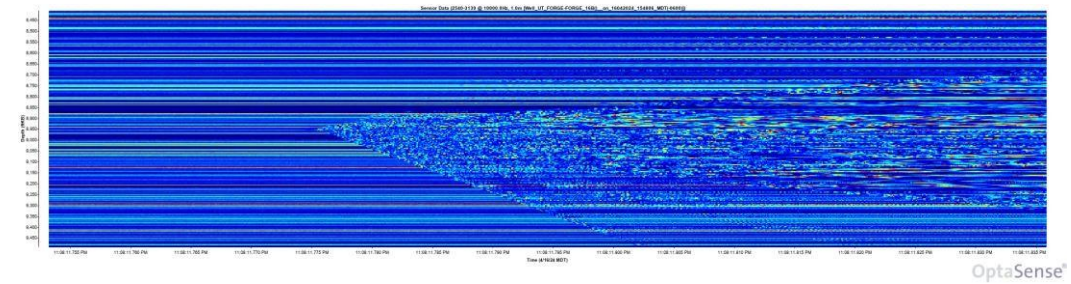
Análisis completo de fractura que muestra la curva de bombeo, la etapa de fractura junto con la distribución de apuntalante y fluido: Obsérvese la falla del tapón

FORGE - Geotermia (250 °C) - Proyecto DOE

Deformación observada en el pozo que muestra frentes de deformación; esto indicó la mejor ubicación para perforar y asegurar la comunicación



Calibración de la profundidad de disparo usando DAS



DEEEP - Viena - Geotermia - Calefacción Distrital

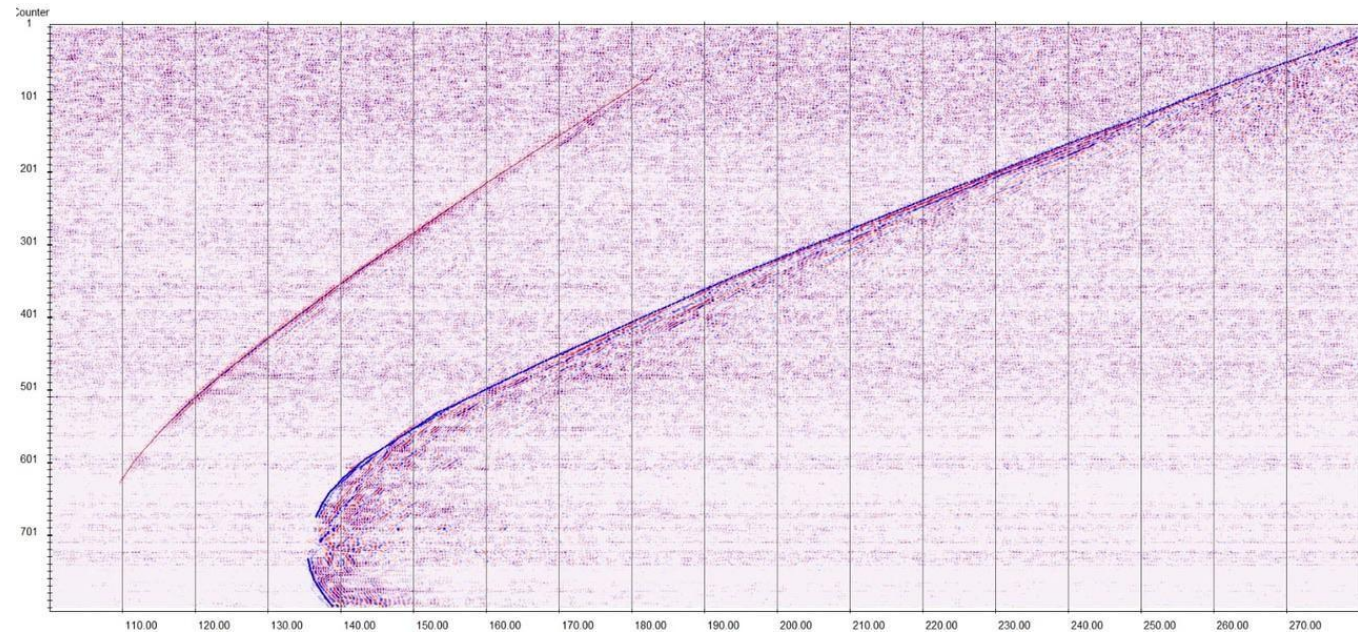
El compromiso de Viena de eliminar la dependencia de fuentes de calefacción basadas en carbono dio lugar a un joint venture entre Wien Energy y OMV llamado DEEEP. OMV lideró la perforación. Este proyecto es de alto perfil y puede encontrarse fácilmente información en línea sobre sus logros récord.

Aunque el conjunto de DFOS está presente, aquí la aplicación se centra en la alerta temprana microsísmica desde el subsuelo para atender preocupaciones regulatorias basadas en un sistema de semáforo acordado. Una sola fibra no puede detectar dirección, pero sí puede detectar la profundidad con mayor precisión, lo cual es crítico para esta aplicación.

Este proyecto aún está en desarrollo; sin embargo, sobre la base del éxito alcanzado, ya existen planes para perforar e instrumentar más pozos en Viena.

DEEEP - Viena - Geotermia - Calefacción Distrital

Evento microsísmico
captado únicamente
por fibra.



Reserva Federal de Petróleo - Monitoreo MSM

Una instalación inusual y con visión de futuro, para monitorear pozos con petróleo almacenado en cavernas salinas. En esta instalación, DFOS fue secundario para captar tecnologías emergentes. El sistema DFOS instalado permanentemente en el casing y dos arreglos microsísmicos tradicionales fueron, de manera inusual, cementados y por lo tanto permanentes. Estos son únicamente pozos de monitoreo y no son funcionales para el movimiento de hidrocarburos.

La estabilidad de la caverna, la integridad de la roca sello y los movimientos del subsuelo son factores abordados con la instalación microsísmica basada en geófonos, complementada por microsísmica y deformación DFOS.

Las interfaces entre la parte superior del domo salino y otras capas de formación pueden ser impredecibles e inestables a lo largo de la vida útil de la caverna. Es posible la compactación de las tuberías de revestimiento, lo que puede provocar cizallamiento y falla. La alerta temprana de movimiento puede permitir intervenir para recuperar la situación y mitigar la pérdida de producto.

Otro ejemplo de un uso poco común de DFOS. Se trata de una instalación reciente y en operación, y no existen imágenes de datos.

Resumen

De estos pocos ejemplos de instalaciones completadas por el fundador de Wells and Waves, la conclusión clara es que DFOS proporciona datos. Cómo se aplican e interpretan esos datos depende de los objetivos definidos por quien invierte tiempo y energía en instalar, operar e interpretar los datos. Una jerarquía simplificada del análisis es la siguiente:

Los datos PT son directos

Los datos DTS son relativamente directos

La interpretación DAS requiere una comprensión más completa del entorno y apoyo de DTS para direccionalidad

LFDAS requiere mucho procesamiento para MSM

DSS es interdependiente de otros datos DFOS, como DTS

El cliente define la necesidad – los entregables – y Wells and Waves proporciona los datos. Con muchas otras instalaciones exitosas que conforman un amplio historial del fundador, existe la seguridad de que cualquier alcance de trabajo estará alineado con las necesidades específicas del cliente. Proporcionar lo que se quiere, sin promover lo que no se necesita. Un diferenciador clave de WnW.

Todos los sistemas referenciados fueron especificados, instalados y monitoreados durante la fractura – según correspondiera – por Alan Reynolds, fundador de Wells and Waves, como PEM (Project Execution Manager), de los cuales existen muchos más. Alan Reynolds es coautor o aparece mencionado en numerosos artículos técnicos relacionados con la aplicación de la tecnología DFOS.

Para más información: WellsWaves Ltd wellsnwaves.com

Alan Reynolds Alan.Reynolds@wellsnwaves.com

Saeed Rehman Saeed.rehman@wellsnwaves.com

Info@wellsnwaves.com