

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO

DIPLOMADO EN GEOTERMIA PARA AMERICA LATINA
EDICION 2018



TEMA: Re- Evaluación de la situación operativa del pozo DG-18D

PRESENTAN:

Gustavo Alejandro Ángel Maravilla

Edwin Antonio Garay Saravia

Denis Enrique Navarro Sidorchuc.

ASESOR: Manuel Ernesto Monterrosa

CO-ASESOR: Valdís Gudmundsdóttir

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos expresar nuestro agradecimiento a la LaGeo, a la UNU-GTP, a la Universidad Nacional de El Salvador, patrocinadores y a todo el personal involucrado por darnos la oportunidad de formar parte del grupo de estudiantes del Diplomado en Geotermia para América Latina Tercera Edición 2018, en donde se nos dio acceso y la oportunidad de aprender de expertos en el área de geotermia.

Asimismo, queremos agradecer y reconocer a los docentes por la dedicación y apoyo que nos brindaron durante el desarrollo y el proceso de aprendizaje del diplomado.

También agradecemos al Ing. Manuel Monterrosa por las sugerencias y por la dirección en la realización de este trabajo.

Agradecemos los compañeros del diplomado por su apoyo y compañerismo mostrado durante todo el curso.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso nuestro más sincero agradecimiento al área de Geología, Geoquímica, Geofísica, Ingeniería, Unidad Ambiental, Unidad de Reservorios y a todo el personal de LaGeo, por brindarnos la información y resolver nuestras dudas, gracias por su amabilidad, por su tiempo y sus ideas.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

A todos, muchas gracias.

INDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	9
OBJETIVOS.....	9
Objetivo general	9
Objetivos Específicos	9
I. MARCO TEÓRICO	10
1.1 Sistemas geotérmicos y sus características básicas	10
1.2 Reservorio geotérmico	10
1.3 Pozos geotérmicos	11
1.4 Perforación de un pozo geotérmico.....	12
1.4.1 Configuración del diseño de un pozo.....	12
1.4.2 Construcción del agujero.....	12
1.4.3 Piso de la plataforma.....	12
1.4.4 Lodo de perforación	12
1.4.5 Casing	13
1.4.6 Repetición	13
1.4.7 Direccional	13
1.5 Pruebas de completamiento y calentamiento.	13
1.5.1 Propósito de las pruebas en pozos geotérmicos.....	13
1.5.2 Tipos de pruebas.....	16
1.6 El efecto skin	16
II. METODOLOGÍA	18
III. POZO DG-18D.....	18
3.1 Criterio de ubicación de pozo DG-18D	18
3.1.1 Geología.....	18
3.1.2 Geoquímica	21
3.1.3 Geofísica.....	22
3.2 Perforación del pozo DG-18D.....	22
3.2.1 Fluido de perforación dentro de pozo	25
3.2.2 Evaluación de cementación por parte de Schlumberger	26

3.3	Geología del pozo	27
3.4	Pruebas de completamiento pozo DG-18D	28
3.4.1	Registro dinámico PTS pozo DG-18D	28
3.4.2	Pruebas de inyectividad pozo DG-18D	29
3.4.3	Recuperación térmica pozo DG-18D	31
3.4.4	Descargas pozo DG-18D	32
IV.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA.....	40
4.1	Ubicación del pozo DG-18D.....	40
4.2	Interpretación de registro dinámico.....	42
4.3	Interpretación de las pruebas de inyectividad	43
4.3.1	Primera prueba de inyectividad.....	43
4.3.2	Segunda prueba de inyectividad.....	45
4.4	Análisis y comparación recuperación térmica pozos plataforma DG18	49
4.5	Análisis de registros dinámicos en descarga	51
4.5.1	Registro especial (13 mayo 2015).....	51
4.6	Quimismo de pozo	54
4.7	Producción.....	56
V.	CONCLUSIONES.....	56
VI.	RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFÍA	58
	ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.	Sistema geotérmico, componentes y características principales.	10
Figura 2.	Esquema y configuración común de un pozo geotérmico.	11
Figura 3.	Representación gráfica de caída de presión por efecto Skin.....	16
Figura 4.	Mapa con fallas principales y distribución de pozos DG-18 A, B, C y D en el campo geotérmico.....	19
Figura 5.	Correlación de unidades Litoestratigráficas de los pozos DG-18 A, B, y C en el campo geotérmico.....	20
Figura 6.	Correlación Mineralógica de los pozos DG-18 A, B, y C en el campo geotérmico.	21
Figura 7.	Resultados de estudio magnetotélúricos, mapa de zonas con anomalías resistivas.....	22
Figura 8.	Diseño del pozo DG-18D.	23

Figura 9. Comparación de variaciones litoestratográficas de los pozos en la plataforma DG-18.....	27
Figura 10. Comparación de facies mineralógicas de los pozos en la plataforma DG-18... ..	28
Figura 11. Resultados del primer registro dinámico realizado al pozo DG-18D.	29
Figura 12. Registro de presión [bar] y temperatura [°C] en primera prueba de inyectividad realizada al pozo DG-18D, 08/01/2015 a 09/01/2015.	30
Figura 13. Registro de presión [bar] y temperatura [°C] en segunda prueba de inyectividad realizada al pozo DG-18D, 09/01/2015 a 10/01/2015.	31
Figura 14. Registro de recuperación térmica para el pozo DG-18D, 08/01/2015 a 03/10/2018.....	32
Figura 15. Primera descarga del Pozo DG-18D, 19 de marzo 2015.	33
Figura 16. Segunda descarga del Pozo DG-18D, 16 abril de 2015.....	34
Figura 17. Presión cabezal y crítica durante tercera apertura del pozo DG-18D, 22 abril de 2015.....	35
Figura 18. Presión a los 970 metros de profundidad en el pozo DG-18A durante apertura del pozo DG-18D.....	35
Figura 19. Monitoreo de la presión de cabezal en pozo DG-18D, 13-14 mayo 2015.	36
Figura 20. Presión de cabezal pozo DG-18D de la quinta durante el día dos de la quinta descarga, 18 junio de 2015.....	37
Figura 21. Agua turbida pozo DG-18D de la quinta durante el día dos de la quinta descarga, 18 junio de 2015.....	37
Figura 22. Presión de cabezal y crítica durante sexta descarga del pozo DG-18D, 02 febrero de 2017.	38
Figura 23. Resumen de eventos importantes durante las seis descargas pozo DG-18D..	39
Figura 24. Estructura geológica de la zona sureste del campo geotérmico y ubicación de la plataforma DG18, intersección de fallas y proyección de zona de pérdidas.....	40
Figura 25. Correlación de unidades Litoestratigráficas de los pozos DG-18 A, B, C y D en el campo geotérmico.....	41
Figura 26. Correlación Mineralógica de los pozos DG-18 A, B, C y D en el campo geotérmico.....	42
Figura 27. Primer registro dinámico DG-18D, 07 enero de 2015.	43
Figura 28. Modelaje con welltester para primera prueba de inyectividad y caudal 15 L/s pozo DG-18D.	44
Figura 29. Modelaje Fall Off con welltester para primera prueba de inyectividad pozo DG-18D.	44
Figura 30. Datos registrados durante segunda prueba de inyectividad para caudales de 15 y 30 L/s pozo DG-18D.	45
Figura 31. Modelaje con welltester para segunda prueba de inyectividad y caudal 15 L/s pozo DG-18D.	46
Figura 32. Modelaje con welltester para segunda prueba de inyectividad y caudal 30 L/s pozo DG-18D.	46
Figura 33. Modelaje Fall Off con welltester para primera prueba de inyectividad pozo DG-18D.	47
Figura 34. Comparación de resultados obtenidos en las pruebas de inyectividad para cada pozo de la plataforma DG18.....	48
Figura 35. Recuperación térmica pozos en plataforma DG18.	49

Figura 36. Mayor temperatura registrada al finalizar la perforación y su evolución en el tiempo durante la recuperación térmica en pozos DG-18 A, B, C y D.....	50
Figura 37. Presión y temperatura durante el registro dinámico en descarga, 13 mayo de 2015.....	52
Figura 38. Izquierda todos los spinner, derecha zoom a los primeros spinner	53
Figura 39. Estación a los 900 metros de profundidad durante registro dinámico en descarga.....	54
Figura 40. Quimismo DG-18's CI en el tiempo.....	54
Figura 41. Quimismo DG-18's B en el tiempo.....	55
Figura 42. Quimismo DG-18's CI Vs. B.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación y terminación pozos plataforma DG18.....	8
Tabla 2. Promedio operativo pozos DG-18's 2017.....	8
Tabla 3. Etapas, diámetros, profundidades y características comunes de un pozo geotérmico.....	11
Tabla 4. Pruebas más comunes para determinar las condiciones operativas de un pozo geotérmico.....	16
Tabla 5. Geotermómetros de los pozos DG-18's.....	22
Tabla 6. Profundidad, tipo de pérdida y observaciones principales durante la perforación de la etapa 17 ½" pozo DG-18D.....	23
Tabla 7. Profundidad, tipo de pérdida y observaciones principales durante la perforación de la etapa 12 ¼" pozo DG-18D.....	25
Tabla 8. Tapones de cemento colocados en la etapa de 17 ½" pozo DG-18D.....	25
Tabla 9. Fluidos de perforación utilizados en condiciones de pérdidas totales a una profundidad de 1142 hasta 1600 m MD.....	26
Tabla 10. Evaluación de Cementación por parte de Schlumberger.....	26
Tabla 11. Presión de cabezal, flujo másico de vapor y agua registrados durante las pruebas de descarga.....	39
Tabla 12. Volumen de fluidos descargados durante las seis aperturas realizadas al pozo DG-18D.....	40
Tabla 13. Parámetros obtenidos con welltester para la primera prueba de inyectividad pozo DG-18D.....	45
Tabla 14. Parámetros obtenidos con welltester para la segunda prueba de inyectividad pozo DG-18D.....	47
Tabla 15. Análisis de recuperación térmica pozos DG18 A, B, C Y D.....	51
Tabla 16. Resumen de los parámetros productivos de los pozos DG18 A, B y C.....	56

RESUMEN

El proyecto consiste en realizar una actualización de la evaluación del estado operativo y productivo del pozo DG-18D de la central geotérmica, el cual fue perforado en el año 2015 y aun no ha alcanzado las características productivas deseadas. Para comprender el comportamiento y determinar las características físicas, termodinámicas y químicas del pozo, se inicia una fase investigativa y de recolección de información, procediendo con el análisis e interpretación de datos para finalmente presentar las recomendaciones o acciones a seguir para optimizar las condiciones productivas del pozo DG-18D.

ABSTRACT

This project consists in carrying out an update the assessment of the potential an operational issues of Well DG-18D of a geothermal field, which was drilled in 2015. At the moment was not possible to sustain the fluid in well. To understand the behavior and to determine the physical, thermodynamic and chemical characteristics of the well there begins a research and information gathering, followed by the analysis and the interpretation of the information. Finally, some recommendations are given in order to optimize the productive conditions of this well.

The main goal for this report consist in update of the analysis toward to Re-evaluate the assessment of the power potential and operational issues for the well DG-18D.

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de mantener los niveles de generación en la central geotérmica se perforó el pozo **DG18-D** durante el periodo de noviembre de 2014 a enero de 2015, con fines productivos, pozo direccional (NNE) y a una profundidad de 1600 metros (MD por sus siglas en inglés) o 1440 metros en profundidad vertical real (TVD por sus siglas en inglés) conformado por tres etapas con diámetros de tubería de 18 5/8", 13 3/8" y 9 5/8" respectivamente, ver Tabla 1

Tabla 1. Ubicación y terminación pozos plataforma DG18.

TERMINACIÓN POZO DG-18'S					
POZO	TR 20"	T.R. 13 3/8"	Linner 9 5/8"	KOP	
DG-18A	0-43.39	0-287.75	862- 1507	330	
DG-18B	0-49.21	0-301.82	728- 1530.67	343	
POZO	TR 24 1/2"	T.R. 18 5/8"	T.R. 13 3/8"	Linner 9 5/8"	KOP
DG-18C	0-52	0-296.4	0-642.8	604-1440	330
POZO	TR 18 5/8"	T.R. 13 3/8"	Linner 9 5/8"	KOP	
DG-18D	0-198	0-685	0-1598	225	

El pozo DG-18D se encuentra ubicado en la plataforma DG-18, en adonde además, existen tres pozos productores adicionales conocidos como DG-18A, DG-18B y DG-18C, siendo este último el que mejores condiciones operativas presenta, ver Tabla 2.

Tabla 2. Promedio operativo pozos DG-18's 2017.

PROMEDIO OPERATIVO POZOS DG-18'S 2017						
Pozo	WHP (barg)	P. Sep. (barg)	Vapor Kg/s	Agua kg/s	Entalpia kj/kg	Calidad%
DG-18A	6.53	6.15	7.96	59.25	921.43	11.84
DG-18B	7.94	6.32	5.29	31.97	973.33	14.20
DG-18C	8.66	6.18	20.37	109.68	996.57	15.49

La selección del sitio, dirección y profundidad de perforación para el pozo DG-18D fue realizada por un equipo multidisciplinario, quienes basaron su decisión en estudios geocientíficos de la zona, ingeniería de reservorio y análisis de información de pozos previamente perforados que presentaron resultados exitosos.

Finalizada la perforación se realizaron las pruebas de completamiento rutinarias, sin embargo, los resultados obtenidos presentaron un comportamiento anómalo y dieron pauta al proceso de análisis de las condiciones operativas del pozo.

A continuación se presentan los resultados de una investigación basada en recolección y análisis bibliográfico del proyecto DG-18D, presentando los hechos más relevantes su interpretación y recomendaciones para alcanzar los objetivos operativos de la central geotérmica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

A pesar de que se encontró una buena correlación litológica con los demás pozos en la plataforma y que existe una temperatura de formación mayor de $\sim 230^{\circ}\text{C}$, lo cual cumple con las expectativas planteadas en el proyecto, no se alcanzan las condiciones productivas en el pozo de por lo menos de 12 kg/s vapor y 60 kg/s agua que fueron estimadas.

Los análisis realizados a los resultados en las pruebas de completamiento indican que existen indicios de baja permeabilidad o recarga, por otro lado, el quimismo muestra que no se ha alcanzado el estado de equilibrio en el reservorio profundo salino y que aún existe presencia de fluidos utilizados en la perforación.

Considerando dicho escenario con la investigación se pretende mejorar las condiciones operativas del pozo a partir de un conjunto de recomendaciones y acciones a tomar que se obtendrán mediante el estudio de la estructura litográfica de la plataforma, revisión de mapas de fallas y su evolución en el campo geotérmico, temperatura de formación, identificación de zonas de alimentación, pruebas de descarga y producción, entre otras tareas que ayuden al objetivo del presente proyecto.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el estado operativo para fines de producción de pozo DG-18D, y determinar la factibilidad de su uso.

Objetivos Específicos

- Investigar y recolectar información de los estudios geocientíficos, reporte de perforación, pruebas de completamiento, análisis de descargas y quimismo del pozo DG18-D, así como también, de cualquier otro pozo o plataforma que contribuya a alcanzar el objetivo principal del presente informe.
- Analizar e interpretar la información recolectada en la primera etapa destacando todos los puntos e ideas que ayuden a definir las características termodinámicas, físicas y químicas del pozo.
- Determinar las condiciones operativas del pozo, de ser necesario y posible, realizarlas pruebas en el sitio que proporcionen la información para alcanzar el objetivo en esta etapa.
- Preparar un documento con los puntos más importantes que ayuden a entender las condiciones actuales del pozo incluyendo las conclusiones y recomendaciones para garantizar el futuro operativo de este.

I. MARCO TEÓRICO

1.1 Sistemas geotérmicos y sus características básicas

Para que exista un sistema geotérmico natural deben de coexistir cinco factores básicos que son: cuerpo de roca caliente (fuente de calor), fluido (reservorio), permeabilidad (primaria como propiedad de la roca o secundaria debido a fallas estructurales), basamento y capa sello como se muestra en la Figura 1

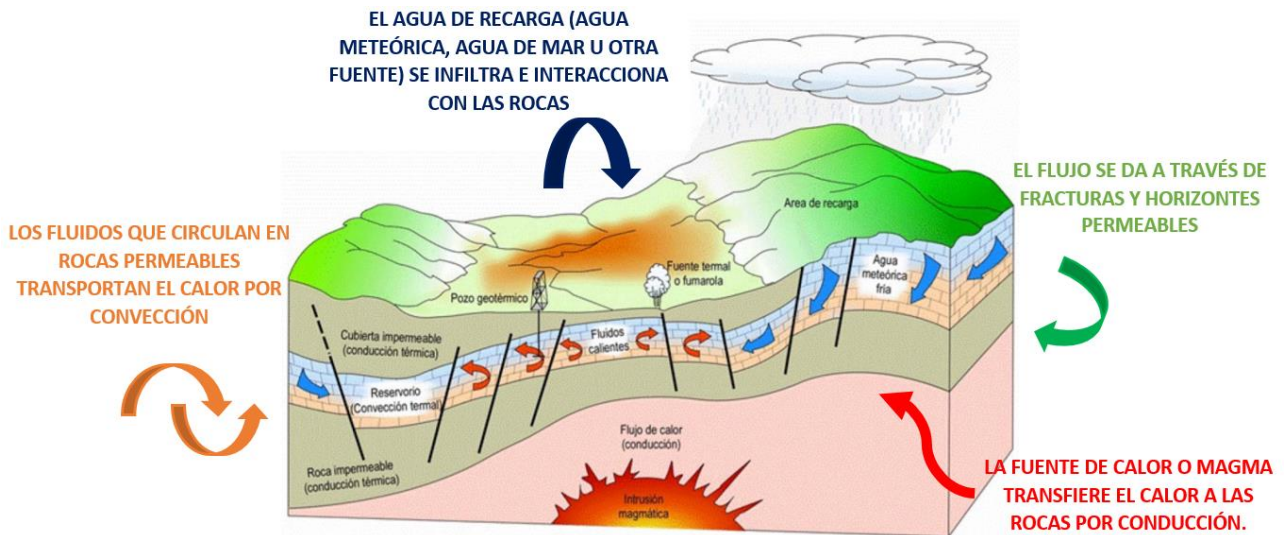


Figura 1. Sistema geotérmico, componentes y características principales.

1.2 Reservorio geotérmico

El reservorio es un componente del sistema geotérmico y se caracteriza por ser la zona donde se encuentra la roca permeable que contiene a los fluidos a una temperatura y presión determinada, delimitados por la capa sello y el basamento.

Las formaciones geológicas que contienen al reservorio geotérmico son complejas, y pueden contener diferentes tipos de rocas, interfaces estratigráficas, fallas, barreras y frentes de fluidos. Algunas de estas características pueden influir en el comportamiento transitorio de la presión en una medida mensurable, y la mayoría afectará el rendimiento del reservorio.

Para estimar el potencial energético de un reservorio geotérmico se parte de una **evaluación volumétrica** en la cual se analizan parámetros como su volumen, capacidad calorífica, temperatura de rechazo y calor almacenado; la calidad de los resultados dependerá del nivel de detalle de los modelos y de los supuestos establecidos en dicha etapa.

En la medida en que sea posible, la construcción de un pozo geotérmico y la información que proporcionan las pruebas que se le realizan, contribuyen a la descripción del reservorio y ayudan en el pronóstico del desempeño del mismo; además, dicha

caracterización es útil a la hora de desarrollar el plan de producción de una central geotérmica.

1.3 Pozos geotérmicos

En una planta geotérmica existen dos tipos de pozos:

- Productores que son utilizados para extraer los fluidos del reservorio, los cuales son conducidos hasta la turbina para generar electricidad.
- Pozos reinyectores que conducen el agua residual del campo para ser de vuelta al sistema geotérmico.

Por lo general estos pozos poseen una configuración telescópica, conformada por tres o cuatro etapas con diferentes diámetros. La Tabla 3 y Figura 2 presentan las características típicas de un pozo geotérmico.

Tabla 3. Etapas, diámetros, profundidades y características comunes de un pozo geotérmico.

Etapa	Diámetro de Agujero (pulg.)	Diámetro de Tubería (pulg.)	Profundidad (m)	Función
Obra Civil	40	36	8 - 12	Estructural
1a.	32	26	60 - 150	Superficial
	26	20		
2a.	23	18 5/8	400 - 900	Intermedia
	17 1/2	13 3/8		
3a.	17 1/2	13 3/8	800 -1600	Anclaje / Producción
	12 1/4	9 5/8		
4a.	12 1/4	9 5/8	1500 -2600	Liner
	8 1/2	7 5/8 - 7		

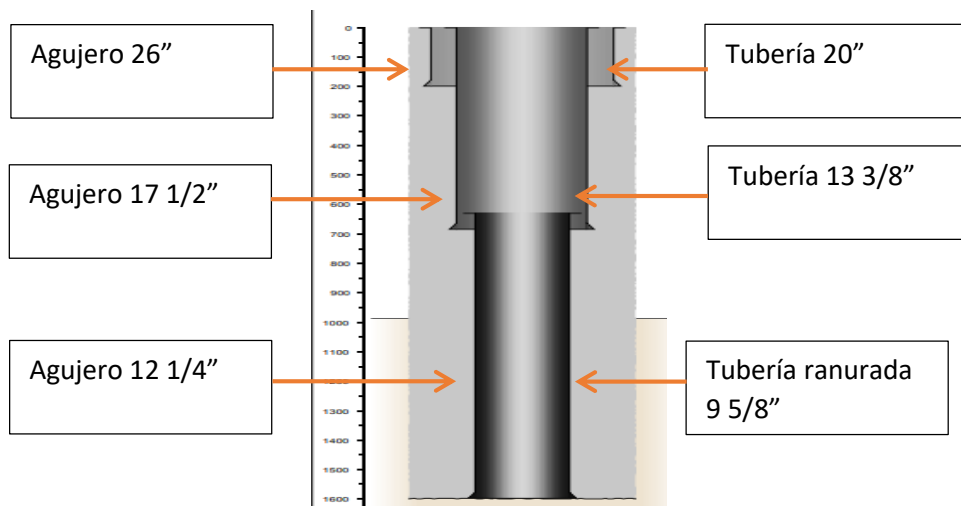


Figura 2. Esquema y configuración común de un pozo geotérmico.

1.4 Perforación de un pozo geotérmico

La perforación de un pozo implica configurar la sarta de perforación, la construcción del agujero, agregar tubería de perforación, aplicar peso a la tubería de perforación para penetrar en la roca, utilizar lodo de perforación para lubricar la barrena y recoger los recortes del suelo, considerar la perforación direccional, entre otro. Las etapas principales en la perforación son las siguientes:

1.4.1 Configuración del diseño de un pozo

Antes de que un pozo pueda ser perforado, debe tener lugar mucha preparación. Geofísicos, geólogos y otros científicos deben estudiar el sitio para determinar si el lugar debe ser perforado, estudios ambientales se deben hacer en la mayoría de los países. Si el sitio es adecuado, entonces el equipo debe ser movilizado y armado, junto con el personal para hacerlo funcionar. Una vez que el equipo de perforación se encuentra en el lugar y todo el personal está disponible, se puede comenzar la perforación.

1.4.2 Construcción del agujero

La tubería de perforación, o el conjunto de barrena y sarta, se arma y se ponen en el piso de perforación por debajo de la torre de perforación. La tubería de perforación también subirá y se conectará a la herramienta. El perforador se encuentra en un compartimento llamado comúnmente la "caseta del perro" y hace funcionar el motor del taladro, empujando la herramienta contra el suelo. Se puede controlar variables como la presión ejercida por la barrena y la velocidad de rotación de esa posición y deben controlar muchas otras variables al mismo tiempo, tales como la supervisión de los trabajadores fuera en el piso de perforación.

1.4.3 Piso de la plataforma

Cuando la barrena alcanza una cierta profundidad, otro tramo de tubería de perforación debe ser añadida. Los trabajadores de piso separan el motor del taladro de la tubería de perforación y usando cabestrantes junto otros tipos de dispositivos de elevación extraen otro tramo de la tubería hasta el piso de perforación. Algunos equipos están diseñados para almacenar los tubos en la torre de perforación para ahorrar espacio y para ayudar a hacer cambios más rápidos. El nuevo stand de tubería se conectará al motor del taladro mediante un mecanismo en la parte superior de la torre de perforación. El otro extremo de la nueva tubería alzada se conecta a la posición anterior que está ya en el agujero por los roughnecks. El perforador puede entonces comenzar a operar el taladro, una vez más.

1.4.4 Lodo de perforación

El fluido de perforación o lodo de perforación, se bombea a través de la tubería de perforación para lubricar la sarta que se opera. El lodo está muy específicamente formulado para cada agujero e incluso para los diferentes estratos del agujero. Un ingeniero de lodos está en el sitio para asegurarse de que la fórmula cumple con las especificaciones requeridas para el trabajo.

1.4.5 Casing

En algún punto del proceso de perforación profunda, lo más probable es que se añada "casing" al pozo. Se trata de una tubería de revestimiento pesado, especialmente diseñada para soportar las paredes del pozo para que no se colapse la tubería de perforación y la herramienta.

En primer lugar, una base de cemento se pone en marcha en el fondo del pozo, el ingeniero en cementaciones formula la mezcla de lechada para asegurar que pueda soportar las tensiones que se pondrán en él. La tubería de revestimiento es colocada en el agujero por el perforador, usando la misma conexión-desconexión proceso que se utilizó para la tubería de perforación.

1.4.6 Repetición

Mientras no haya problemas en el pozo, como una tubería doblada o un colapso, este proceso se repite hasta que el equipo llegue a la profundidad y ruta que se le ordenó alcanzar.

1.4.7 Direccional

Cuando es necesario alcanzar un objetivo específico del subsuelo que no es accesible a través de las prácticas convencionales de perforación vertical, se utiliza una ruta o dirección, orientando ángulos. El uso de equipos de perforación direccional permite alcanzar puntos en el fondo del agujero previamente inalcanzables. Es por eso que los resultados de la perforación direccional dan una ventaja significativa sobre la perforación convencional vertical en ambientes de baja permeabilidad o en situaciones en las que los operadores desean acelerar la producción del reservorio. (PSB, 2011)

1.5 Pruebas de completamiento y calentamiento.

Las pruebas de completamiento se ejecutan justo después de perforado el último metro del pozo y previos a la entrega como finalizada (antes de ser instalada la válvula maestra)

1.5.1 Propósito de las pruebas en pozos geotérmicos

Las pruebas en pozos ayudan a determinar las condiciones operativas de estos, monitorear el comportamiento del reservorio ante las actividades de producción y reinyección realizadas en la central geotérmica, describir la formación geológica del reservorio y proporcionar información para el manejo del recurso.

Por lo general en estas pruebas se monitorean principalmente los transientes de presión antes los estímulos generados por la inyección de fluidos, ambos parámetros son gobernados por el reservorio a través de:

- La conductividad que influye en que tan rápido los fluidos pueden desplazarse hacia el pozo, este parámetro proporciona información a la hora de seleccionar la cantidad y número de pozos.

PRUEBA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p style="text-align: center;"><u>DRAWDOWN</u></p> 	<p>Para iniciar la prueba el pozo debe de estar condición estática, estable y cerrado, además, con una herramienta de presión y temperatura (PT, por ejemplo herramienta electrónica K10) en su interior a una profundidad determinada, por lo general, si no se tiene información del pozo se coloca al fondo; una vez que se cumplan con las condiciones antes descritas se abre el pozo para que fluya.</p>	<p>Es un buen método para las pruebas de límite de reservorio, ya que el tiempo requerido para observar una respuesta de frontera es largo y las fluctuaciones operativas en el caudal se vuelven menos significativas en tiempos tan largos.</p>	<p>Es difícil hacer que el flujo fluya a una velocidad constante, incluso después de que se haya parcialmente estabilizado ya que la condición del pozo inicialmente no puede ser estática o estable, especialmente si fue perforado recientemente o ha fluido anteriormente.</p>
<p style="text-align: center;"><u>BUILD UP</u></p> 	<p>El pozo debe estar fluyendo (idealmente a un caudal constante) la herramienta de medición PT debe de encontrarse en su interior a una profundidad determinada, por lo general al fondo del pozo, cumpliendo con dichas condiciones se cierra el pozo interrumpiendo el flujo, se mide el transiente de presión durante dicha maniobra hasta que alcanza condiciones estables.</p>	<p>El análisis de una prueba Build up a menudo requiere solo una ligera modificación de las técnicas utilizadas para interpretar la prueba drawdown de flujo constante. La ventaja práctica de una prueba build up es que la condición de caudal constante se logra más fácilmente (ya que el caudal es cero).</p>	<p>Puede ser difícil conseguir las condiciones de flujo constante antes del cierre, en particular, puede ser necesario cerrar el pozo brevemente para colocar la herramienta de presión en el orificio. La producción se pierde mientras el pozo está cerrado.</p>
<p style="text-align: center;"><u>INYECTIVIDAD</u></p> 	<p>Una prueba de inyectividad es similar a una prueba dinámica, con la diferencia en que el flujo es bombeado hacia el pozo; se analiza el transiente de presión en el fondo durante el periodo de inyección y estableciendo los límites operativos. Con esta prueba se tiene una idea cualitativa de la permeabilidad de la zona.</p>	<p>Los flujos de inyección a menudo se pueden controlar más fácilmente que los flujos de producción.</p>	<p>El análisis de los resultados de las pruebas se puede complicar con efectos multifásicos, a menos que el fluido inyectado sea el mismo que el líquido del reservorio original.</p>
<p style="text-align: center;"><u>FALL OFF</u></p>	<p>Una Prueba Fall Off mide la disminución de la presión posterior al cierre de una inyección, es conceptualmente idéntico a una prueba build up.</p>	<p>Se puede determinar si existe daño en el pozo por efecto "Skin"</p>	<p>La interpretación es más difícil si el fluido inyectado es diferente del líquido del reservorio original, además que</p>

			<p>se pueden presentar fluctuaciones que complican la interpretación de los resultados.</p>
<p style="text-align: center;">INTERFERENCIA</p>	<p>Se trata de una prueba de monitoreo de presión con respecto al tiempo de un pozo de observación mientras otros pozos se encuentran en descarga o reinyección. Con este método se puede determinar los cambios de presión en el reservorio</p>	<p>Una prueba de interferencia controla los cambios de presión en el reservorio, a una distancia del pozo de producción original. Por lo que son muy útiles a la hora de caracterizar las propiedades del reservorio en una escala de longitud mayor que las pruebas de un solo pozo. Con el número creciente de instalaciones con medidores permanentes, las pruebas de interferencia pueden volverse más comunes que en el pasado.</p>	<p>Requiere de un tiempo considerable para que la producción en un pozo afecte apreciablemente la presión en un pozo adyacente. Como consecuencia de esto, las pruebas de interferencia han sido poco comunes debido al costo y a la dificultad de mantener tasas de flujo fijos durante un período de tiempo extenso. Los cambios de presión a una distancia del pozo productor son mucho más pequeños que en el pozo de producción en sí, por lo que las pruebas de interferencia requieren registradores de presión sensibles.</p>

- La presión en el reservorio ayuda a estimar el potencial energético contenido en el mismo y determinar la sostenibilidad del recurso en el tiempo a la hora de iniciar la producción. Las presiones en la vecindad del pozo se ven afectadas por los procesos de perforación y producción, y pueden ser bastante diferentes de la presión y el reservorio en general. La buena interpretación de las pruebas nos permite inferir esas presiones distantes de las presiones locales que realmente se pueden medir.

- Los límites del reservorio permite determinar la cantidad del fluido geotérmico contenido y estimar zonas de alimentación identificando la posible existencia de acuíferos.
- Otros parámetros importantes a considerar son las propiedades del fluido extraído, que se pueden determinar con pruebas de laboratorio, y conocer las condiciones físicas del pozo como el efecto “Skin” que influye en las condiciones operativas de este.

1.5.2 Tipos de pruebas

El tipo de prueba a realizar se define según los objetivos de la misma, sin embargo, en algunas ocasiones la selección se rige por limitaciones prácticas o conveniencia. La Tabla 4 describe las pruebas más utilizadas en el área de la geotermia.

Tabla 4. Pruebas más comunes para determinar las condiciones operativas de un pozo geotérmico.

1.6 El efecto skin

La transmisión de presión no se realiza de manera uniforme a través del reservorio, ya que se ve afectado por las heterogeneidades locales. En su mayor parte, estos no afectan el cambio de presión dentro del pozo excepto aquellas heterogeneidades de reservorio que están en la vecindad del pozo.

En particular, a menudo hay una zona que rodea el pozo que es invadida por el filtrado de lodo o el cemento durante la perforación o finalización del pozo, esta zona puede tener una menor permeabilidad que el reservorio en general, actuando como una piel alrededor del pozo causando mayor caída de presión, esto se muestra en la Figura 3.

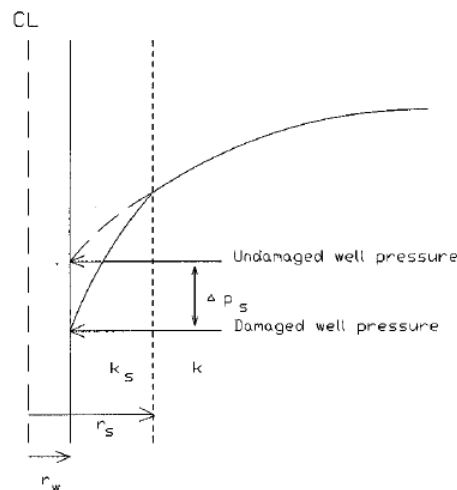


Figura 3. Representación gráfica de caída de presión por efecto Skin.

La caída de presión Δp_s es la diferencia entre la presión actual en el pozo y la presión que debería poseer sin daño, el factor Skin es una variable adimensional usada para cuantificar la magnitud del efecto Skin, el cual es definido por la ecuación 1.

$$s = \frac{kh}{141.2qB\mu} \Delta p_s$$

Ecuación 1. Cálculo de efecto Skin.

Donde:

s=skin

k= permeabilidad.

h= espesor reservorio local.

q= tasa de producción o reinyección.

B= Factor del volumen de formación.

μ = viscosidad cinemática

En unidad consistente, se definiría el efecto Skin por la ecuación 2.

$$s = \frac{2\pi kh}{qB\mu} \Delta p_s$$

Ecuación 2. Definición de efecto Skin por unidad consistente.

Si imaginamos que el efecto Skin se debe al daño de la zona del radio r_s y reduce la permeabilidad k_s , el efecto Skin se puede calcular a partir de la ecuación siguiente:

$$s = \left(\frac{k}{k_s} - 1 \right) \ln \frac{r_s}{r_w}$$

Ecuación 3. Definición de efecto Skin debido a daño en r_s y reducción de permeabilidad k_s .

También podemos describir el efecto Skin en términos de un radio de pozo efectivo. Este radio es menor que el nominal debido al efecto Skin, que causara reducción en flujo del pozo. El radio efectivo está dado por la ecuación 4.

$$r_{weff} = r_w e^{-s}$$

Ecuación 4. Efecto Skin en términos de un radio de pozo efectivo.

Se puede observar la ecuación 3 que si la zona permeable k_s es alta en la zona del reservorio (como puede suceder en una acidificación o estimulación) entonces el efecto Skin puede ser negativo, en dicho caso, el radio efectivo dado por la ecuación 4 será mayor que el radio actual. La distribución de presión se comporta según la figura 3.

Claramente hay un límite en cuanto a lo negativo que puede ser un efecto Skin, en la práctica un skin menor de -5 es raras veces de ver, no es el caso para el efecto de skin positivo que pueden ser magnitudes hasta de 20.

II. METODOLOGÍA

El proyecto tendrá una base investigativa y analítica el cual se desarrollará en las siguientes etapas:

- Recolectar la información existente, estudios geocientíficos (geología, geoquímica, geofísica) utilizados en determinación del sitio, rumbo y azimuth del pozo DG-18D, así como también; el informe final de perforación, parámetros productivos y termodinámicos de los pozos de las zonas aledañas que ayuden a determinar la situación operativa del pozo objeto de estudio.
- Interpretar la información existente: modelo conceptual integrado, problemas durante la perforación, perdidas parciales y totales, pruebas de completamiento, registro dinámicos, transientes de presión, primeras descargas, quimismo, zonas de alimentación que correlacionen con los pozos aledaños.
- Concluir, con toda la información interpretada resaltar aquellos hechos que ayuden a definir las condiciones termodinámicas, geológicas, físicas y químicas de los pozos (mediante la información disponible), con ello ejecutar pruebas, de ser necesarias, que complementen la información ya recopilada.
- Recomendar acciones que podrían mejorar la condición productiva.

III. POZO DG-18D

3.1 Criterio de ubicación de pozo DG-18D

3.1.1 Geología

Los principales objetivos establecidos por el área geológica para la perforación del pozo DG-18D fueron alcanzar la zona NE de la plataforma DG-18, Figura 4, ya que según la geología estructural del campo geotérmico, es ahí donde se encuentra la zona permeable asociada a los fallamientos Tacubita, Falla 35 y el lineamiento NE.



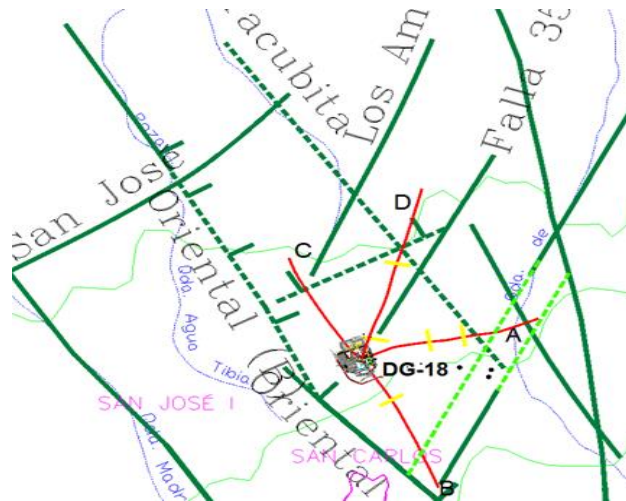


Figura 4. Mapa con fallas principales y distribución de pozos DG-18 A, B, C y D en el campo geotérmico.

Se estableció alcanzar el reservorio a una profundidad comprendida entre los 900 a 1600 metros (MD), dicho parámetro fue establecido a partir de la información litológica disponible de los pozos adyacentes, en la cual, ubican dicha zona en la unidad 4 descrita en la Figura 5 que pertenece a la facie filítica propilítica de la Figura 6.

CORRELACION UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS Y ZONAS DE PERDIDAS TOTALES

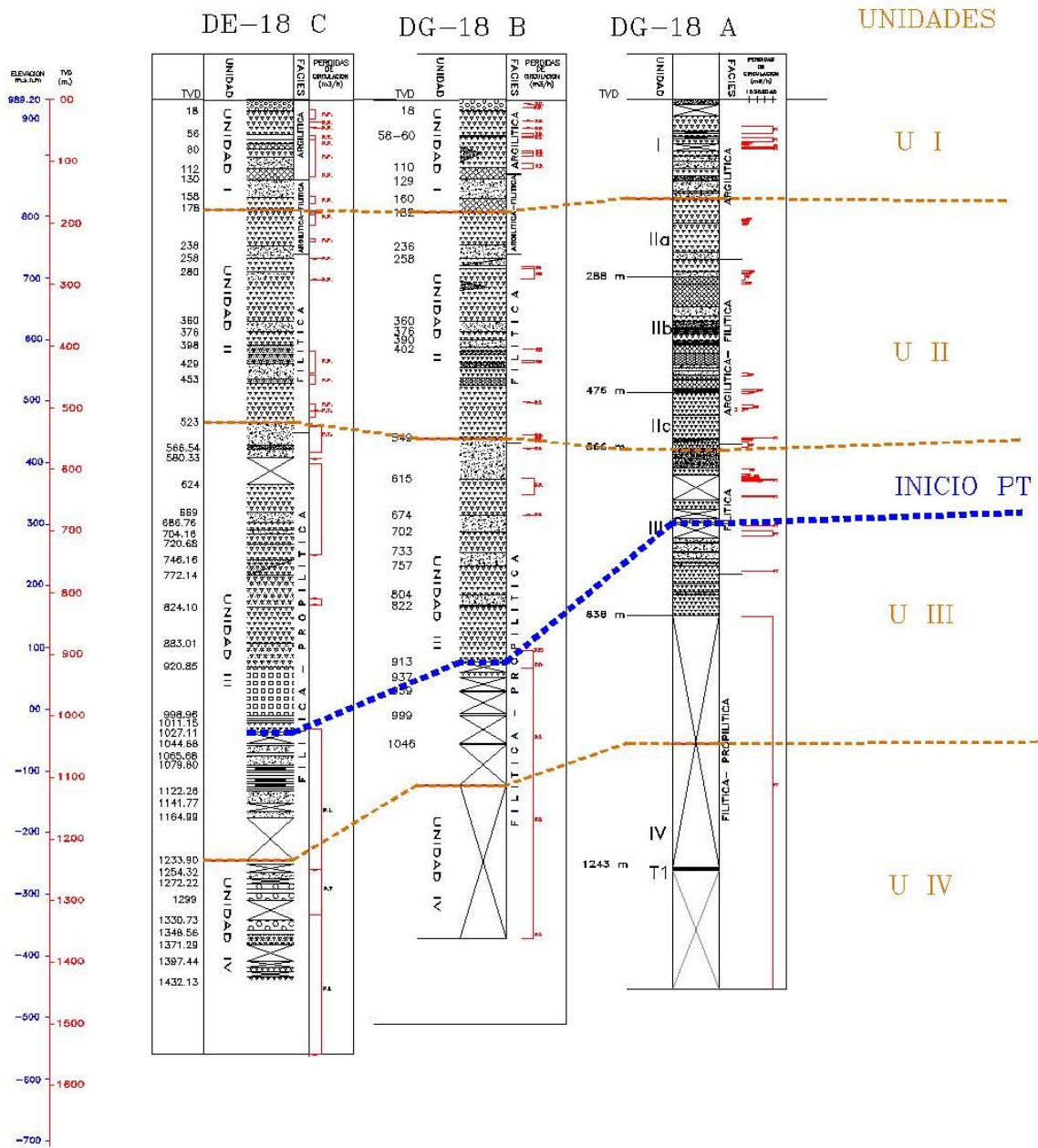


Figura 5. Correlación de unidades Litoestratigráficas de los pozos DG-18 A, B, y C en el campo geotérmico.

CORRELACION MINERALOGICA POZOS DG 18 A, B Y C

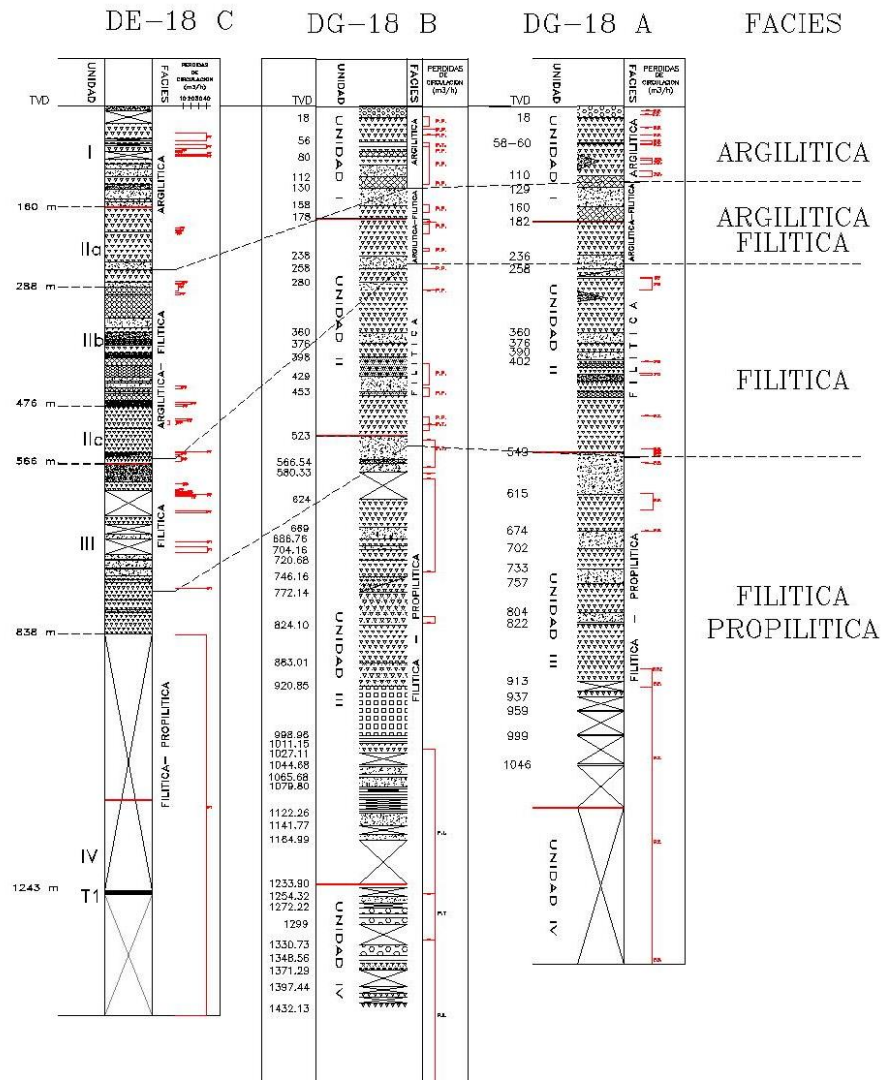


Figura 6. Correlación Mineralógica de los pozos DG-18 A, B, y C en el campo geotérmico.

Finalmente se pretendía actualizar y expandir el conocimiento litológico del subsuelo a través del análisis macroscópico y petrográfico de los recortes obtenidos durante la perforación, obteniendo una columna litológica con mayor detalle, información mineralogía de alteración hidrotermal y evaluación de las facies.

3.1.2 Geoquímica

La geoquímica utilizó la técnica de los geotermómetros para estimar la temperatura en el reservorio del pozo DG-18D, la cual fue comparada con las temperaturas calculadas con dicho método en los demás pozos de la plataforma, la Tabla 5 presenta dichos resultados.

Tabla 5. Geotermómetros de los pozos DG-18's.

POZO	T MED °C	T Cuarzo °C	T NaK F °C	T NaK G °C	TNaKCa °C	Tgas D&P °C
DG-18D	195-250	193	190	205	185	258
DG-18A	225-235	225	225	238	220	248
DG-18B	235	230	225	238	220	247
DG-18C	235	230	225	238	220	247

3.1.3 Geofísica

El área de geofísica identificó a partir de estudios magnetotelúricos (MT) zonas con anomalías resistivas, las cuales fueron clasificadas según la Figura 7. El objetivo establecido para la perforación del pozo DG-18D fue alcanzar el área de 20 ohm-m donde se ubica el reservorio productor de la central geotérmica que posee una razón de éxito del 62%.

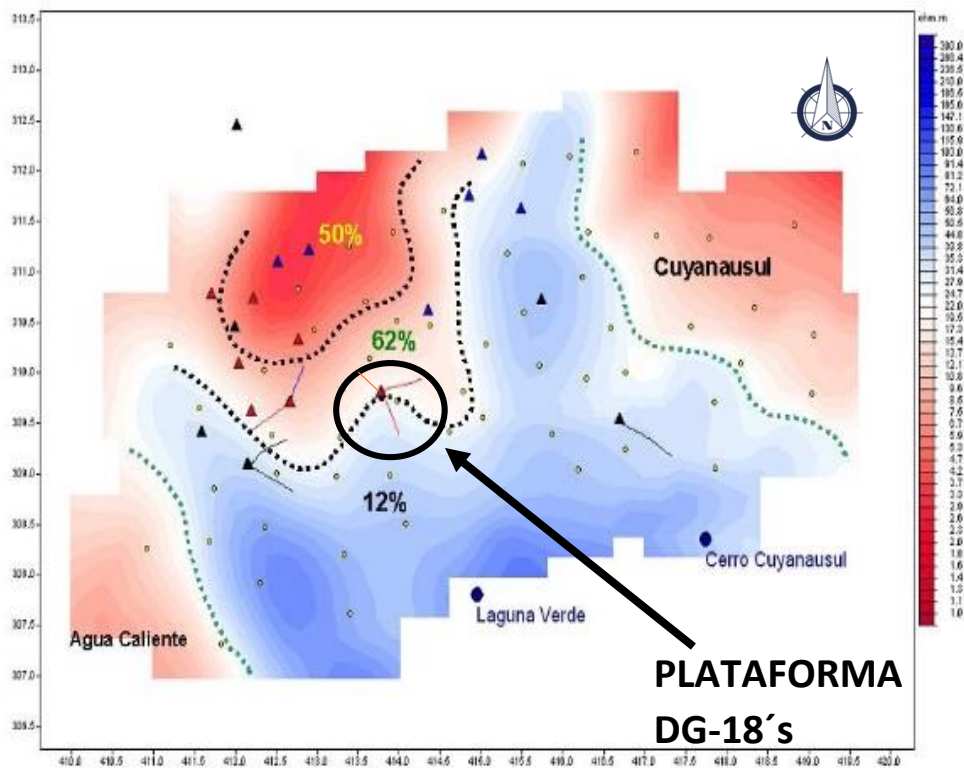


Figura 7. Resultados de estudio magnetotelúricos, mapa de zonas con anomalías resistivas.

3.2 Perforación del pozo DG-18D.

A partir de la información disponible en los reportes finales de perforación se determinó que las actividades de construcción del pozo iniciaron a finales de noviembre de 2014 y finalizaron en enero de 2015, trabajando un total de 52 días (Anexo 1) cumpliendo con los tiempos establecidos.

El pozo fue diseñado para una profundidad de 1600 m en MD o 1440 m en TVD, del tipo direccional N15E, configurado en tres etapas con diámetros de tubería de 18 5/8", 13 3/8"

y 9 5/8" respectivamente; la Figura 8 representa un esquema con las características principales del pozo.

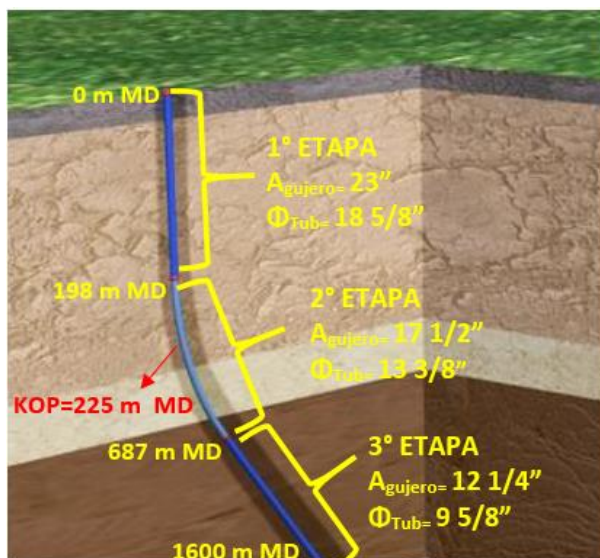


Figura 8. Diseño del pozo DG-18D.

Las Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 presentan a mayor detalle las pérdidas de circulación presentadas durante la perforación en cada etapa donde:

PPC: Perdida parcial de Circulación.

PTC: Perdida Total de Circulación.

PTCI: Perdida Total de Circulación Intermitente.

Tabla 6. Profundidad, tipo de pérdida y observaciones principales durante la perforación de la etapa 17 1/2" pozo DG-18D.

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE PERDIDA (m ³ /h)	OBSERVACIONES
277 – 279	PPC: 30	La pérdida se controla con píldora viscosa y material de pérdida de circulación. Disminuye a 10 m ³ /h
277 – 296	PPC: 10	Se manda otro bache viscoso con material de pérdida de circulación para mantener dichas pérdidas a 10 m ³ /h.
296 – 441	PTC: 15 - 20	Se continúa perforando con pérdidas parciales de circulación incrementadas aun utilizando lodo con gran viscosidad y material obturante.

414	PTC	Pérdida total e intermitente. Se saca herramienta para Tapón #8 de esa Fase II.
414 – 439	PPC: 4.5	Se perfora en estas condiciones y se avanza 25 m.
439	PTC	Se sacas herramienta a superficie para colocar el Tapón # 9 de esta Fase II.
424 – 428	PPC: 20 m ³ /h, 40 m ³ /h y 54 m ³ /h.	Esta pérdida se manifiesta intermitente en caudales.
506 – 600.94	PPC: 5	Bajo estas condiciones se perfora sin problemas y se avanzan 73.94 m
600.94 – 609	PTC y PPC	Se produce Flasheo en 3 ocasiones (ascenso de flujo), primero PTC y luego circulación con PPC.
609	PTC	Se saca herramienta a superficie para colocar Tapón # 10 de esta Fase II.
629.69	PTC	Se tira bache de lodo altamente viscoso 200 s/quart con material obturante y se coloca en zona de pérdida y se deja en reposo 4 horas. Y así se controla pérdida y se avanza 30 m. hasta la profundidad de 659.8 m. Aquí se produce un atrapamiento de la barrena cuando se hace "survey".
659.8	PTC	Se saca herramienta a superficie para colocar Tapón # 11 de esta Fase II.
639 – 640	PTC	Se saca herramienta a superficie para colocar Tapón # 12 de esta Fase II. Aquí se atrapa herramienta pero se libera.

685.64	PTC	Esta pérdida se tiene cuando el casing está ya en el pozo y se circula para enfriar el pozo y luego cementar.
--------	-----	---

Tabla 7. Profundidad, tipo de pérdida y observaciones principales durante la perforación de la etapa 12 ¼" pozo DG-18D.

PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE PERDIDA (m ³ /h)	OBSERVACIONES
706 - 712	PTC	Se produce una pérdida intermitente de circulación. En este punto se cambia el fluido de lodo a agua de forma paulatina. Al final la pérdida de circulación se estabiliza sin uso de obturante.
1142 - 1600	PTC	Esta es la pérdida de circulación esperada de la Zona Productiva o Reservorio. De esta profundidad de 1142 m hasta los 1600 m se perfora en PTC. Se perfora solo con agua para proteger el Reservorio.

Tabla 8. Tapones de cemento colocados en la etapa de 17 ½" pozo DG-18D.

No. Tapón	Profundidad (m)	Tipo de Pérdidas (m ³ /h)	TPF 5" (m)	Volumen Lechada (m ³)	Densidad (kg/L)	Tope Cima (m)
8	414	PTC	410	10	1.7	353.00
8	414	PTC	410	10	1.7	353.00
9	439	PTC	429	10	1.75	371.00
10	609	PTC	600	10	1.75	525.43
11	659.8	PTC	650	12	1.74	591.00
12	640	PTC	534	16	1.62	484.00

3.2.1 Fluido de perforación dentro de pozo

Considerando la información disponible y al pozo se le inyectó un volumen total de 8217 m³ de fluidos (Anexo 2) desde que iniciaron las pérdidas totales a los 1142 m, esto sin incluir los baches viscosos (ya que dicho dato no se ha encontrado en ningún reporte de perforación) que se le inyectaron para limpiar el agujero a la hora de realizar las conexiones de tuberías de perforación (TP), sin embargo para efectos del presente informe dicho parámetro se calculó en 482 m³ utilizando el dato de 10 m³ por cada 9.5 m de tubería de perforación (proporcionado por un experto en el área de perforación) para

los 458 m existentes entre los 1142 y 1600 m MD de profundidad. La Tabla 9 contiene un resumen de los fluidos utilizados en el segmento antes mencionado.

Tabla 9. Fluidos de perforación utilizados en condiciones de pérdidas totales a una profundidad de 1142 hasta 1600 m MD.

Fluidos de perforación en DG-18D		
ITEM	MATERIAL	VOLUMEN (m ³)
1	Agua	7700.04
2	Recortes	34.83
3	Baches Viscosos	482.11
Total		8216.97

3.2.2 Evaluación de cementación por parte de Schlumberger

En el reporte de perforación se identificó que existió un problema durante la primera cementación, no se obtuvo retorno de cemento, debido a que la unidad cementadora presento fallas por lo que fue necesario realizar cementaciones complementarias por el anular.

La evaluación de cemento se hizo por medio del registro Sónico de Cementación con coples (CBL-VDL-CCL). De acuerdo a las características de la tubería, para un diámetro de 13 3/8", las respuestas esperadas durante el registro son las siguientes:

- Tiempo de tránsito: 400 μ s/ft +/- 10%
- Amplitud en tubería libre: 42 mV +/- 4 mV

La Tabla 10 describe los tramos de tubería donde se detectaron los valores más representativos del registro y que podrían ser importantes a la hora de un análisis o interpretación.

Tabla 10. Evaluación de Cementación por parte de Schlumberger

EVALUACIÓN DE CEMENTACIÓN		
Si valor CBL obtenido en la evaluación es: Valor CBL \geq 42 mV +/- 4mV Amplitud de tubería libre 20 mV < Valor CBL < 42 mV Poca a regular adherencia Valor CBL < 20 mV Buena calidad de cementación		
PROFUNDIDAD MD [M]	RESULTADO	OBSERVACIONES
80 a 245	Adherencia regular	Debido a valores CBL que fluctúan con un promedio de 20 mV, la parte interior de tubería es un poco ambigua por lecturas de retorno de 18.62"
245 a 260	Buena calidad de cementación	CBL presentan buena calidad de cementación y VDL también lo confirma

260 a 415	Adherencia regular a baja	Niveles de amplitud en CBL cercanos a los de tubería libre, desde 20 hasta 40 mV con un promedio de 22 mV
415 a 445	Adherencia de moderada a alta	Valores CBL muestran moderada a alta adherencia de cemento con tubería con valores de hasta 4 mV a 20 mV
445 a 680	Adherencia Moderada y Baja	Con niveles de amplitud en CBL cercanos a los de tubería libre, desde 20 hasta 40 mV con un promedio de 22 mV
CBL= Cement Bond Logging (Registro de Adherencia de Cemento) VDL= Variable Density Log (Registro de Densidad Variable)		

3.3 Geología del pozo

Las variaciones litoestratográficas y mineralógicas del pozo DG-18D, Figura 9 y Figura 10, son mínimas si se comparan con las existentes en los pozos adyacentes de la plataforma (DG-18A, DG-18B, DG-18C) por lo que hay una buena correlación entre estos a pesar de que están orientados en distintas direcciones.

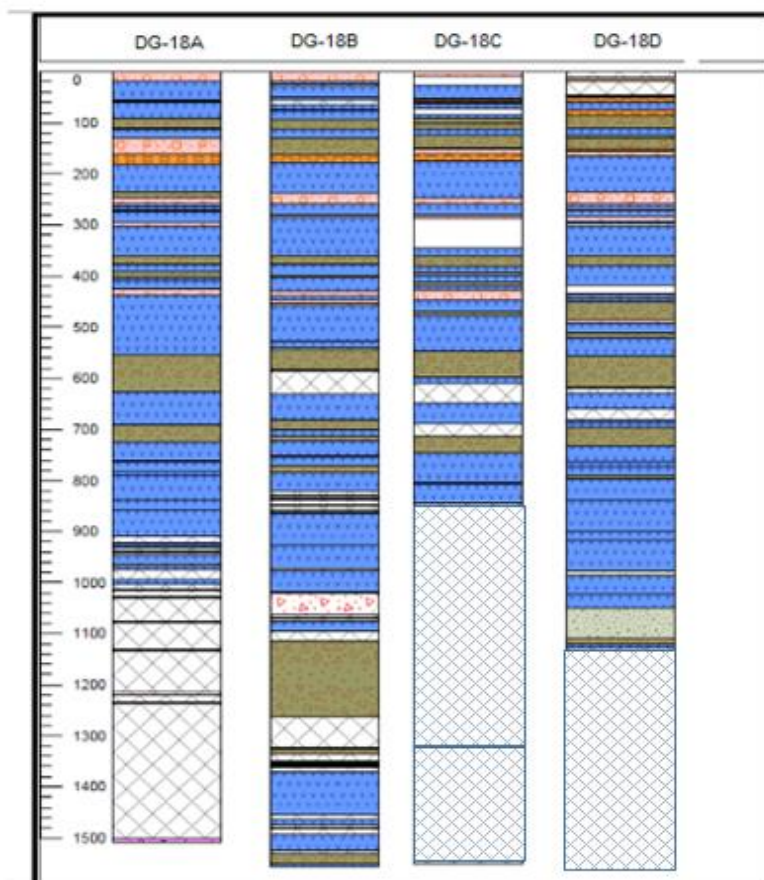


Figura 9. Comparación de variaciones litoestratográficas de los pozos en la plataforma DG-18.

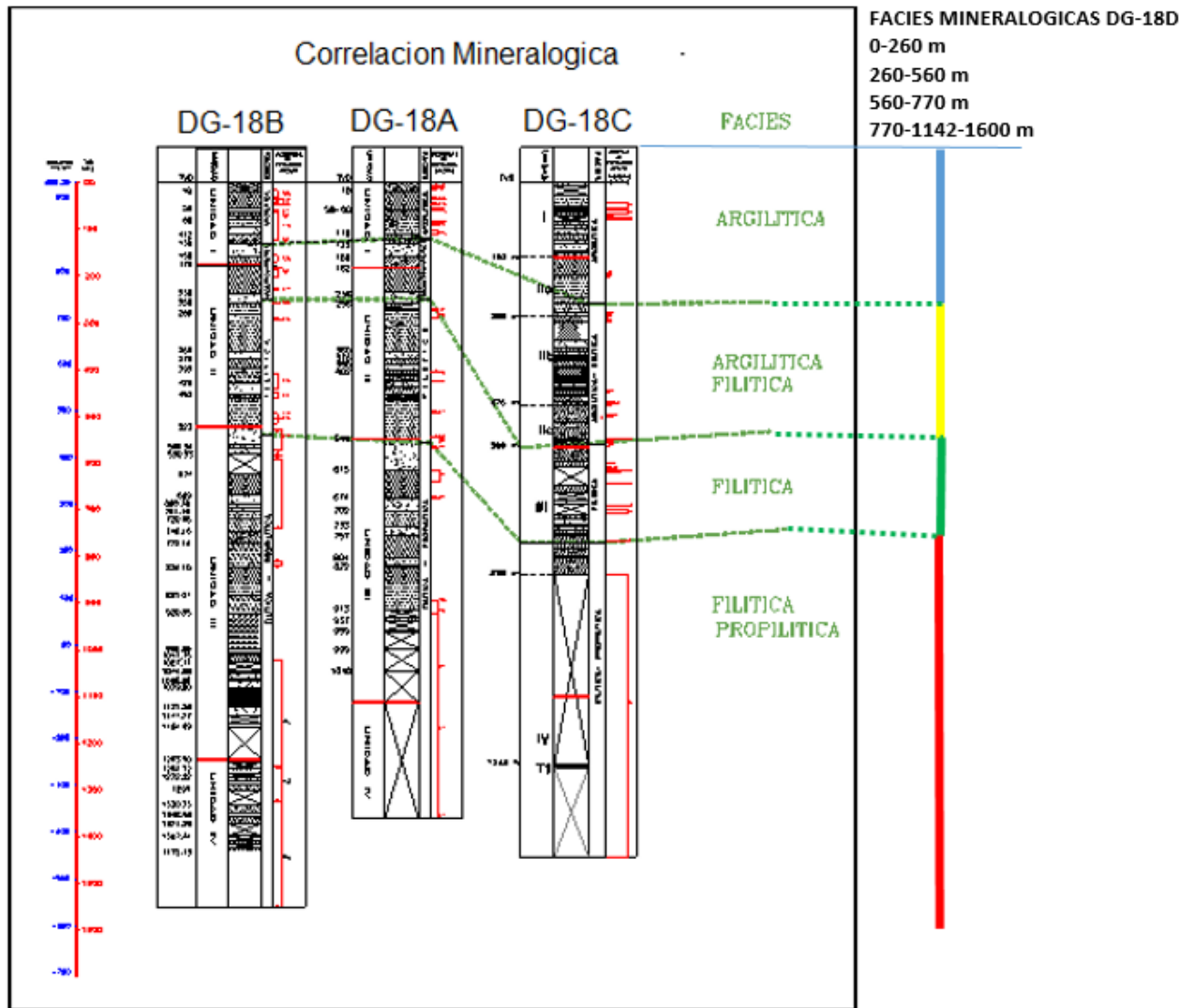


Figura 10. Comparación de facies mineralógicas de los pozos en la plataforma DG-18.

3.4 Pruebas de completamiento pozo DG-18D

3.4.1 Registro dinámico PTS pozo DG-18D

Las pruebas de completamiento iniciaron el 07 de enero de 2015 con un registro dinámico Presión-Temperatura-Spinner (PTS) con inyección de agua fresca a 30 L/s incrementando el nivel hidrostático en 110 m, lo cual se tradujo en un aumento de presión de 11 Bar. Se identificaron dos zonas de alimentación, Figura 11, la primera a los 750 m (MD) y la segunda desde los 1400 hasta 1500 m (MD) de profundidad.

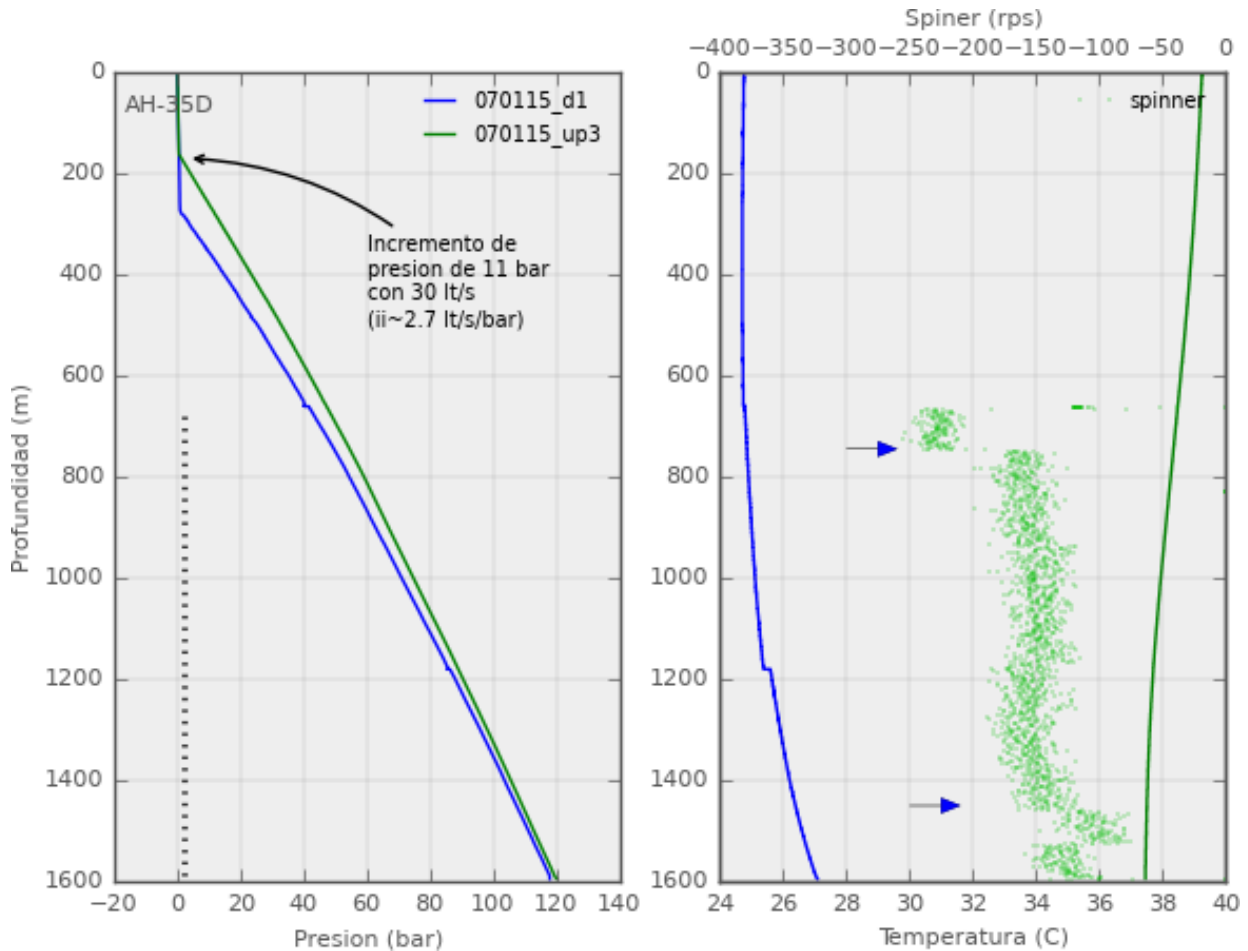


Figura 11. Resultados del primer registro dinámico realizado al pozo DG-18D.

3.4.2 Pruebas de inyektividad pozo DG-18D

Finalizada la perforación del pozo DG-18D se realizaron dos pruebas de inyektividad, ambas con agua fresca:

- Primera prueba de inyektividad

La primera prueba inició el 08 de enero de 2015 a las 12:49 pm y finalizó el 09 de enero de 2015 a las 04:00 am debido a problemas con el sistema de bombeo. Para esta prueba se descendió la herramienta Kuster K-10 con número de serie G5901 a una profundidad de 1450 m, para esta ensayo se utilizaron dos caudales de 30 L/s distribuidos en dos horas cada uno, los cuales fueron interrumpidos por falta de agua. La Figura 12 presenta los valores de presión y temperatura registrados en dicha prueba.

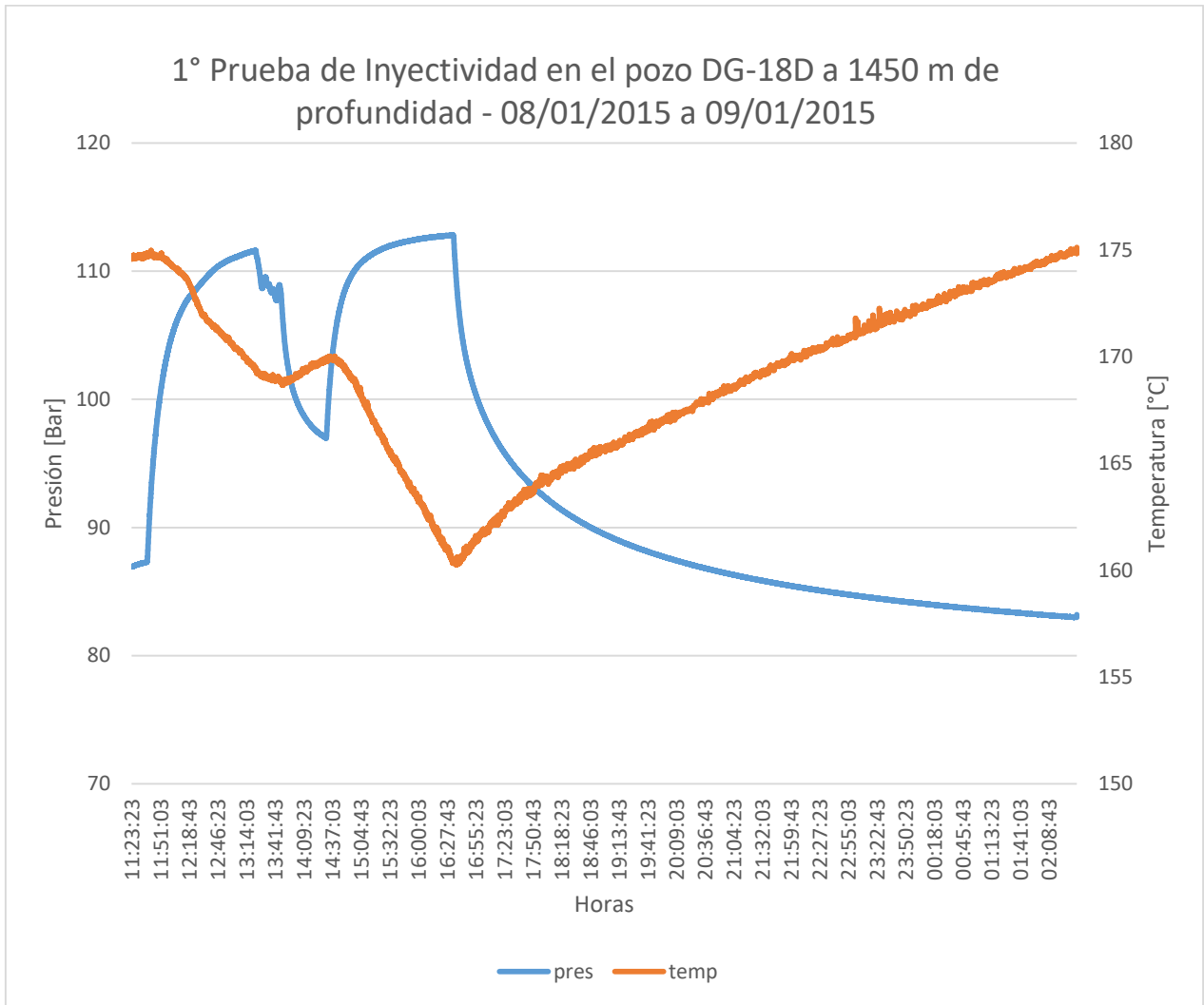


Figura 12. Registro de presión [bar] y temperatura [°C] en primera prueba de inyectividad realizada al pozo DG-18D, 08/01/2015 a 09/01/2015.

- Segunda prueba de inyectividad

Se ejecutó desde las 20:33 pm del día 09 de enero de 2015 hasta las 10:33 am del 10 de enero de 2015 y se inyectaron dos caudales de 15 y 30 L/s por dos horas cada uno, para el registro de datos se descendió la herramienta Kuster K-10 con número de serie G5901 a 925 m de profundidad obteniendo los resultados de presión y temperatura presentados en la Figura 13.

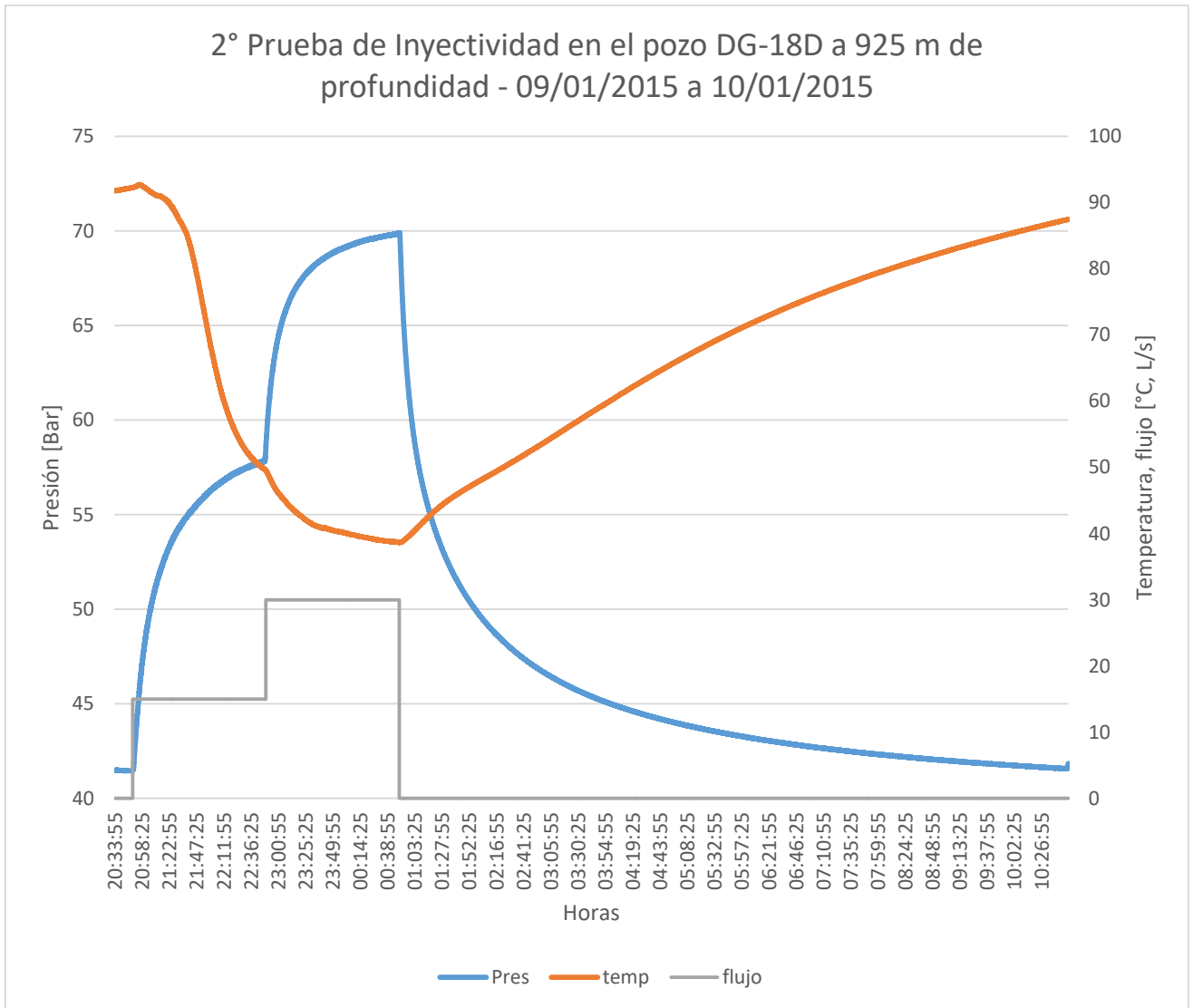


Figura 13. Registro de presión [bar] y temperatura [°C] en segunda prueba de inyectividad realizada al pozo DG-18D, 09/01/2015 a 10/01/2015.

3.4.3 Recuperación térmica pozo DG-18D

Durante la perforación se presentaron diversos tramos con pérdidas parciales y totales, sin embargo con el registro de recuperación térmica se identificaron dos zonas importantes de aporte o alimentación, Figura 14, la primera entre los 700-750 metros de profundidad y la segunda entre los 1150-1600 metros, coincidiendo esta última con la zona reportada con pérdida total durante la perforación.

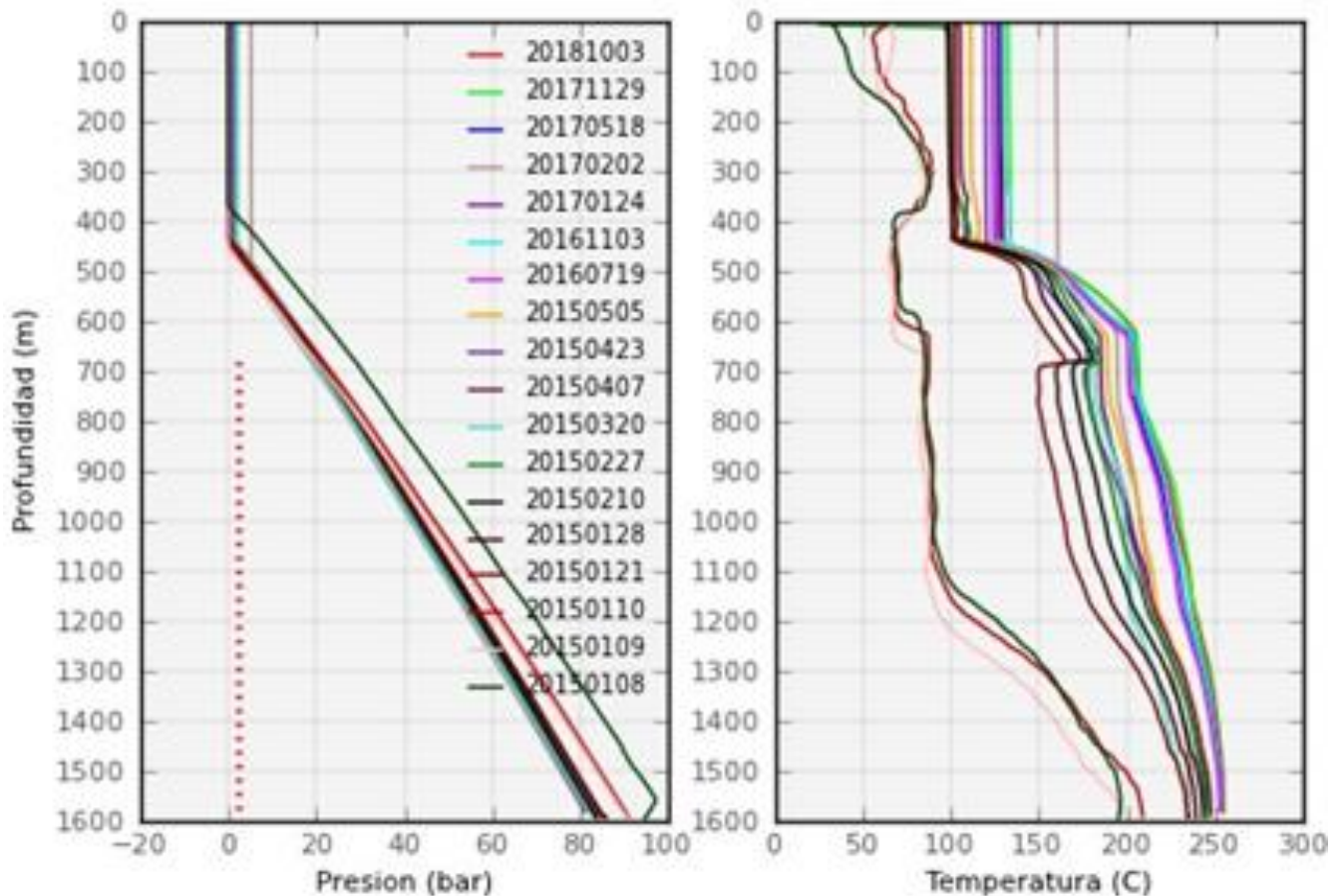


Figura 14. Registro de recuperación térmica para el pozo DG-18D, 08/01/2015 a 03/10/2018.

3.4.4 Descargas pozo DG-18D

Para realizar las descargas del pozo DG-18D fue necesario estimularlo con aire (debido a que no fluye por sí solo) a 22 bar con compresor industrial marca Bauer, en total se han realizado seis descargas hasta la fecha del presente informe las cuales se detallan a continuación:

1° Descarga (19/Mazo/2015)

El martes 17 de marzo se realizó la presurización del pozo hasta alcanzar los 300 psi (20.7 Bar), el día 19 de marzo inició la descarga del pozo a las 10:20 am descargando hacia el silenciador de la plataforma y enviando las aguas hacia piletas de lodos adyacentes.

Durante la descarga se observó presencia de mucho lodo denso y espumoso de color rojizo en el vertedero, la máxima presión de cabezal alcanzada fue de 90 psig (6.20 Bar), sin embargo no fue sostenible en el tiempo, Figura 15. La calidad de vapor registrada fue de 50 al 60%.

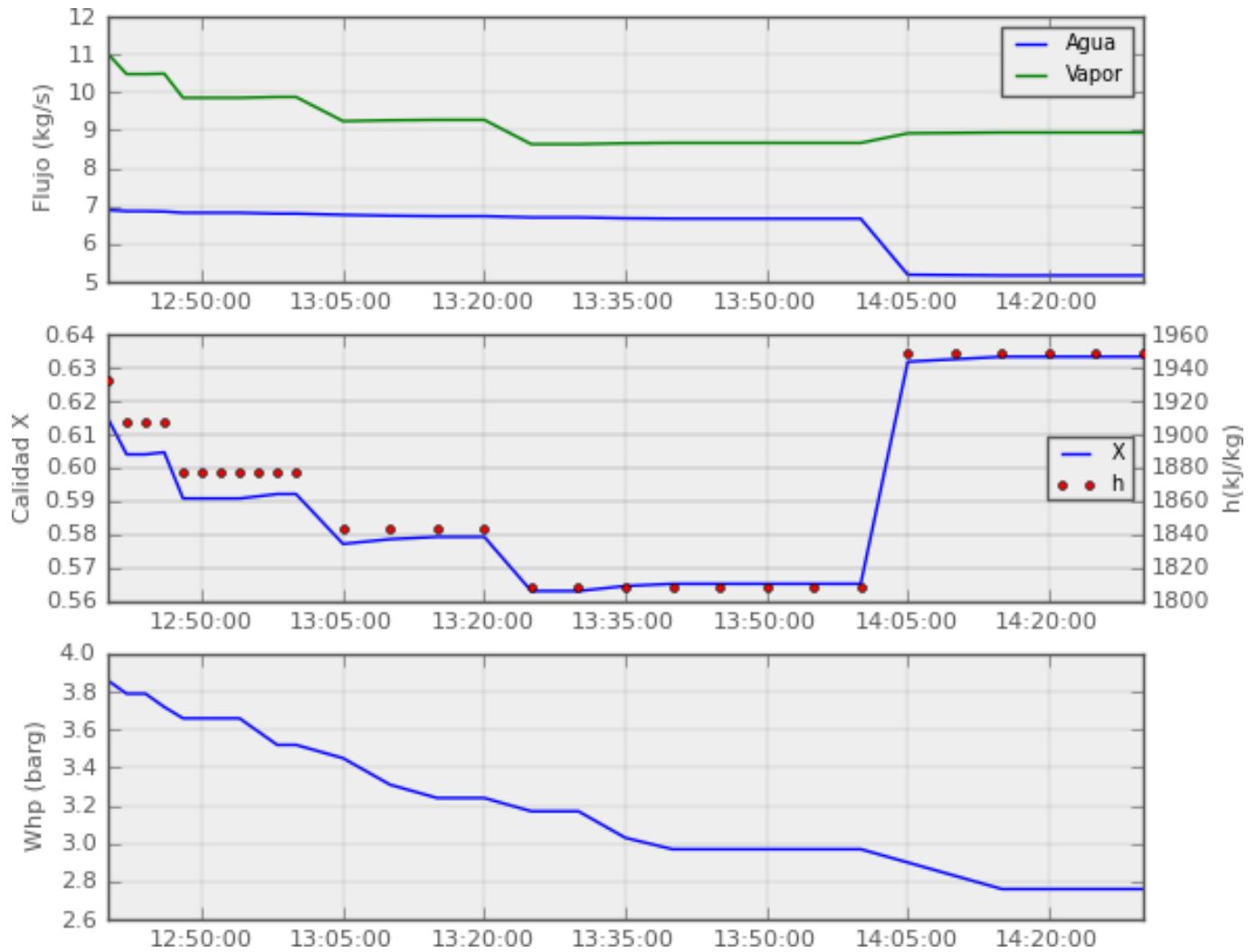


Figura 15. Primera descarga del Pozo DG-18D, 19 de marzo 2015.

2° Descarga (16/Abril/2015)

La apertura inició a las 10:24 am, la presión máxima alcanzada fue de 110 psi (7.59 Bar) después de 45 minutos de iniciada la inducción sin ser sostenible en el tiempo, el pozo se mantuvo descargando hacia el silenciador de la plataforma enviando las aguas hacia la pileta por alrededor de 5 horas, se cerró a las 15:35 pm por limitación de almacenamiento de las aguas. La Figura 16 presenta la información recolectada durante dicha actividad.

En cuanto a los elementos descargados se observó presencia de lodos y agua turbia, también se pudo escuchar arrastre en la tubería de acarreo.

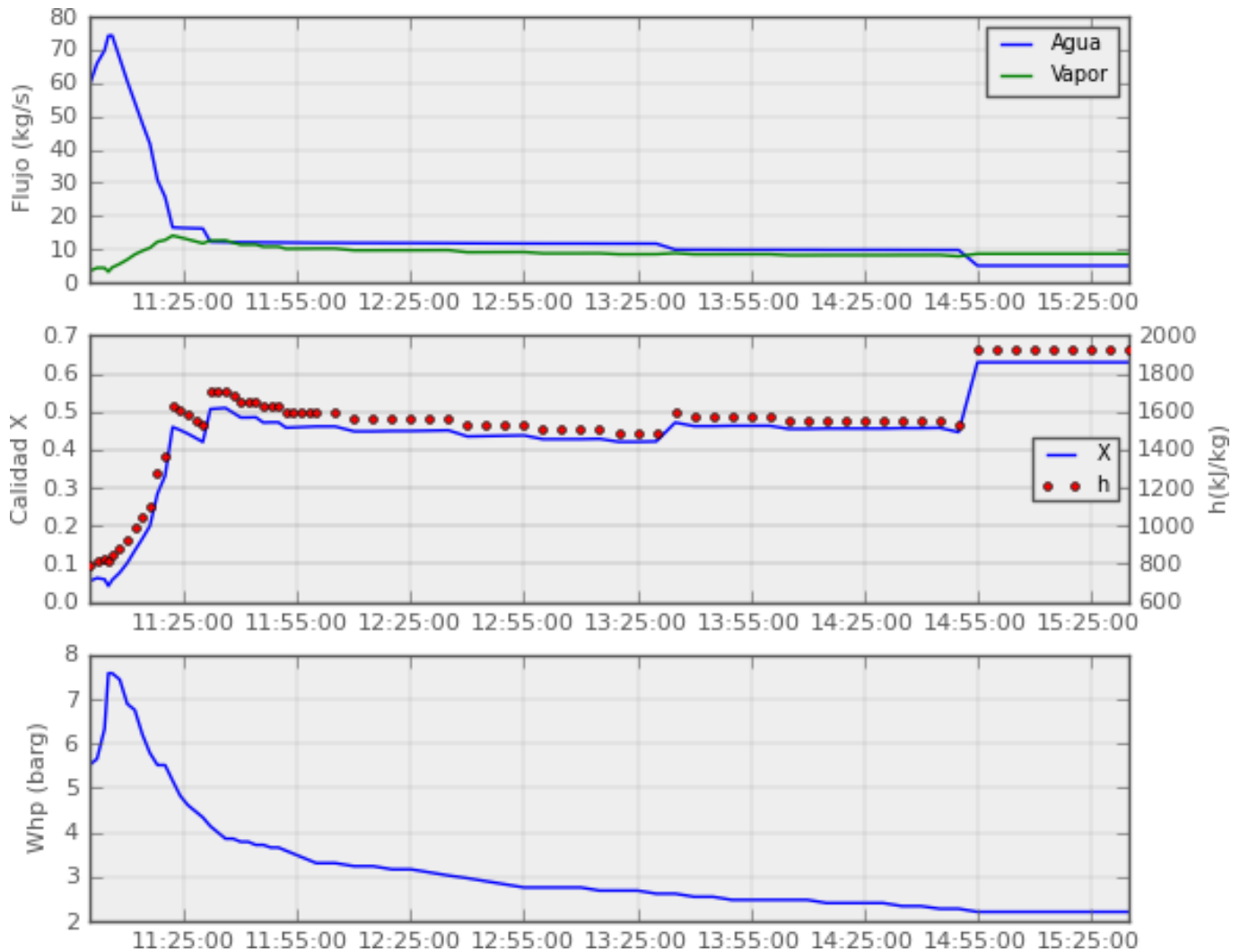


Figura 16. Segunda descarga del Pozo DG-18D, 16 abril de 2015.

3° Descarga (22/Abril/2015)

El día 21 de abril 2015 se inició las maniobras de presurización del pozo para ser descargado el día 22 de abril, durante la descarga se alcanzó una presión máxima de 37 psi (2.55 Bar), es importante mencionar que ya habían transcurrido 7 días desde la última descarga, lo cual podría ser indicativo de una baja permeabilidad en la vecindad del pozo. Durante la descarga se observa presencia de lodos y agua turbia.

A las 13:42 pm la presión de cabezal llega a cero sin mostrar signos de recuperación por lo cual se cierra el pozo, Figura 17.

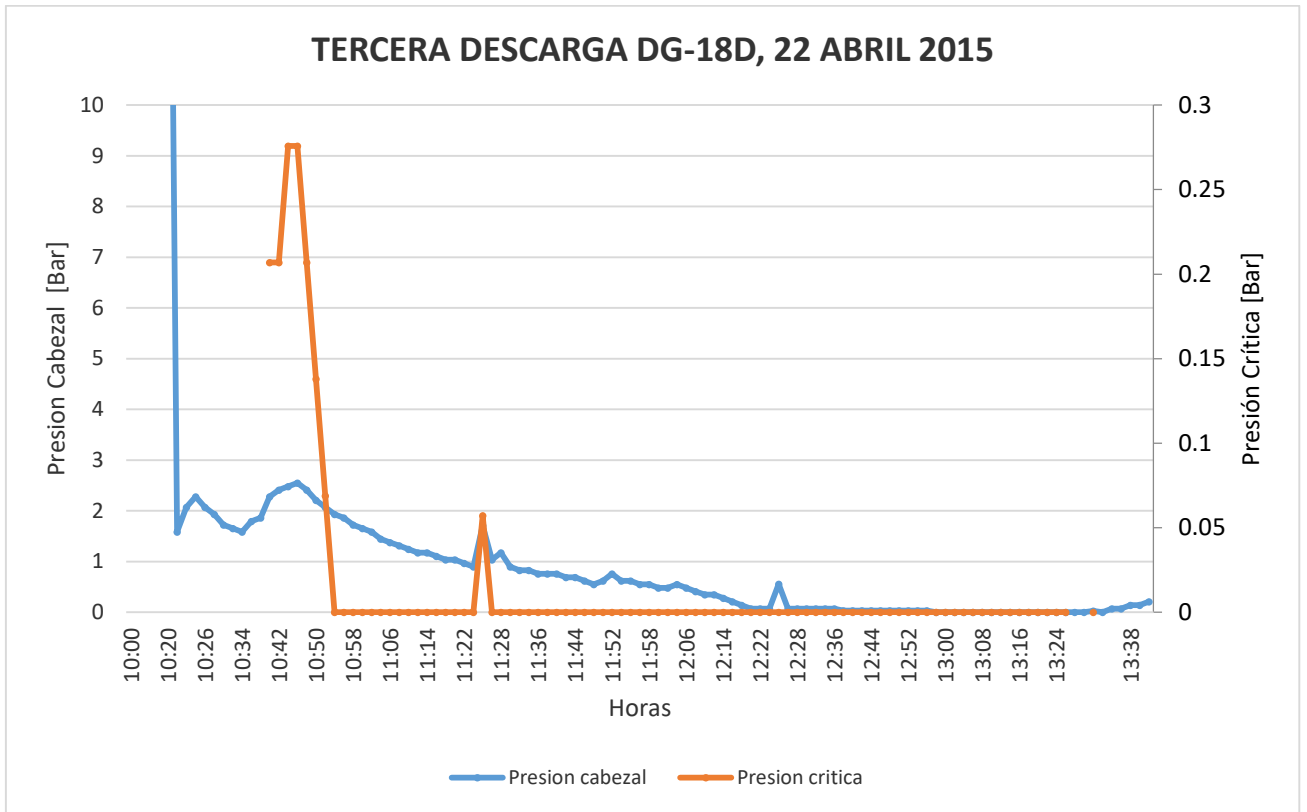


Figura 17. Presión cabezal y crítica durante tercera apertura del pozo DG-18D, 22 abril de 2015.

Para la apertura del pozo DG18-D se descendió cámara de monitoreo de presión en el pozo DG-18A a una profundidad de 970 m para poder verificar una posible interferencia entre estos, Figura 18.

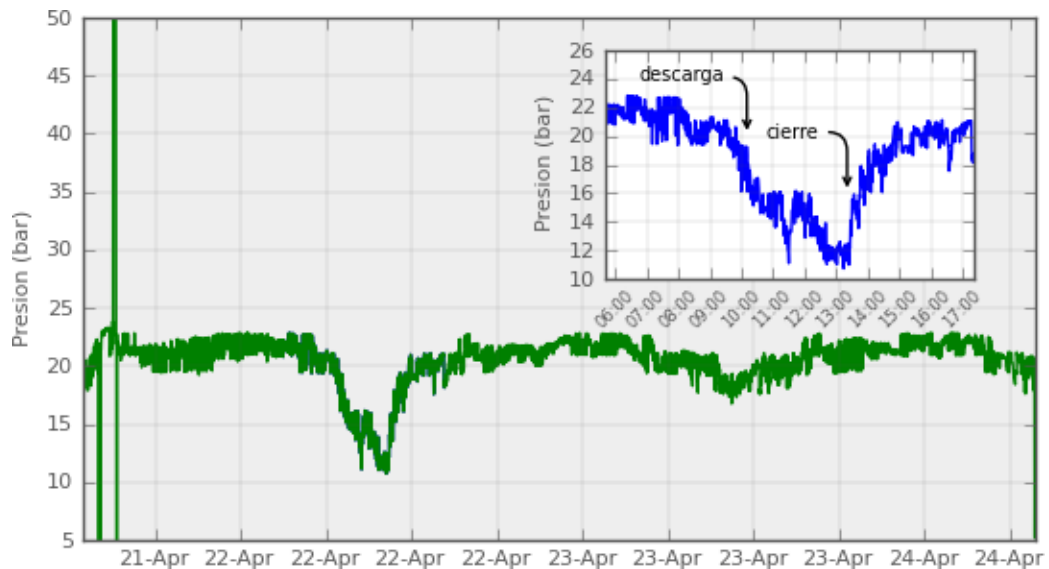


Figura 18. Presión a los 970 metros de profundidad en el pozo DG-18A durante apertura del pozo DG-18D.

4° Descarga (13-14/Mayo/2015)

Desde las primeras descargas realizadas, esta fue la primera apertura descrita como de larga duración enviando las aguas vía canaleta hacia el tanque de emergencia.

La descarga inició a las 10:24 am y a las 11:05 am alcanzó una presión máxima de 105 psi (7.2 Bar), la cual no fue sostenible y decayó hasta llegar a una presión de cero (momentáneamente) y posteriormente inició nuevamente el proceso de descarga; este fenómeno se repitió en tres ocasiones, Figura 19. El pozo fue cerrado a las 11:38 am para realizar transiente de Buil-Up con herramienta electrónica K10.

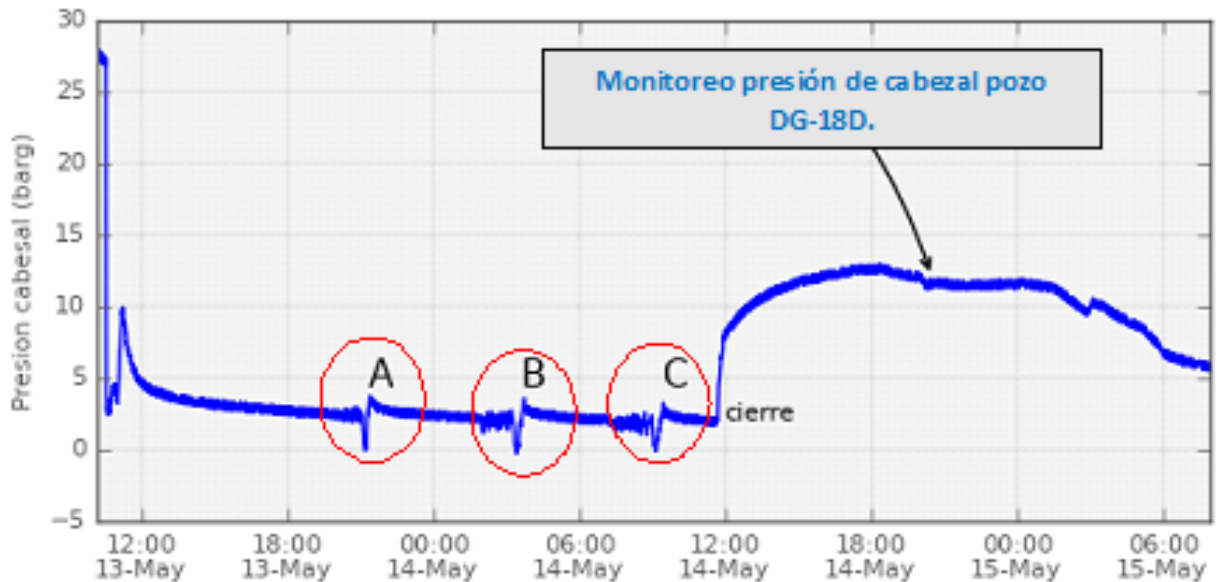


Figura 19. Monitoreo de la presión de cabezal en pozo DG-18D, 13-14 mayo 2015.

5° Descarga (18/Junio/2015).

La quinta descarga tuvo una duración de 2 días enviando las aguas hacia el tanque de emergencia de la central geotérmica.

Día 1.

La inducción inició a las 10:28 am liberando súbitamente la presión inyectada (20 Bares) hacia el silenciador en la plataforma, la presión desciende hasta 1 Barg e inició proceso de recuperación de presión hasta alcanzar un máximo de 90 psi (6.2 Bares) en cabezal, 17 psi (1.17 Bar) en presión crítica y 28.91 L/s de agua a las 11:25 am, aproximadamente 1 hora después de iniciada la apertura. Luego el pozo presentó un decaimiento gradual de sus parámetros productivos.

A las 13:37 pm, el pozo mantuvo una presión de 39 psig (2.68 Barg), se realizó un cierre gradual e inmediatamente una apertura abrupta a modo de parar el caimiento gradual u observar un aumento de presión en cabezal, sin embargo a las 13:43 pm, después de finalizada la operación la presión reportada fue de 40 psi (2.76 Bar), confirmando que la maniobra no tuvo éxito.

Día 2.

La presión reflejada en el manómetro fue de 1 psi (0.1 bar), este parámetro no reflejó cambios a lo largo de la mañana, Figura 20. Por la tarde se intentó cerrar y abrir súbitamente el pozo alcanzando una presión máxima de 22 PSI (1.5 Bar) y descendiendo hasta 1 psi (0.1 bar) nuevamente.

A las 17:35 pm se cerró el pozo por pérdida de características de productivas, durante la ejecución de todas las descarga se observó presencia de sólidos en el agua, Figura 21.

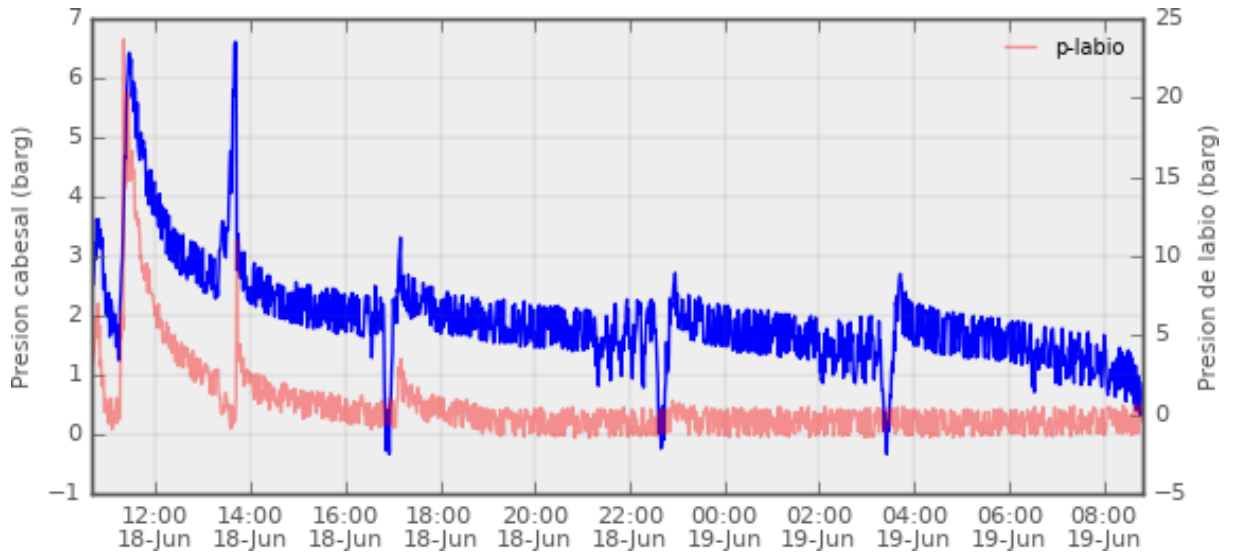


Figura 20. Presión de cabezal pozo DG-18D de la quinta durante el día dos de la quinta descarga, 18 junio de 2015.



Figura 21. Agua turbida pozo DG-18D de la quinta durante el día dos de la quinta descarga, 18 junio de 2015.

6° Descarga (02/Febrero/2017)

Se inició la apertura a las 10:00 am descargando hacia el silenciador en la plataforma y enviando las aguas residuales hacia la pileta, se registró a las 10:23 am una máxima presión de 163 psi (11.24 Bar), posteriormente descienden los parámetros productivos observados en aperturas anteriores, Figura 22.

El pozo se cerró a las 14:18 pm por problemas operativos (fuga en vertedero).

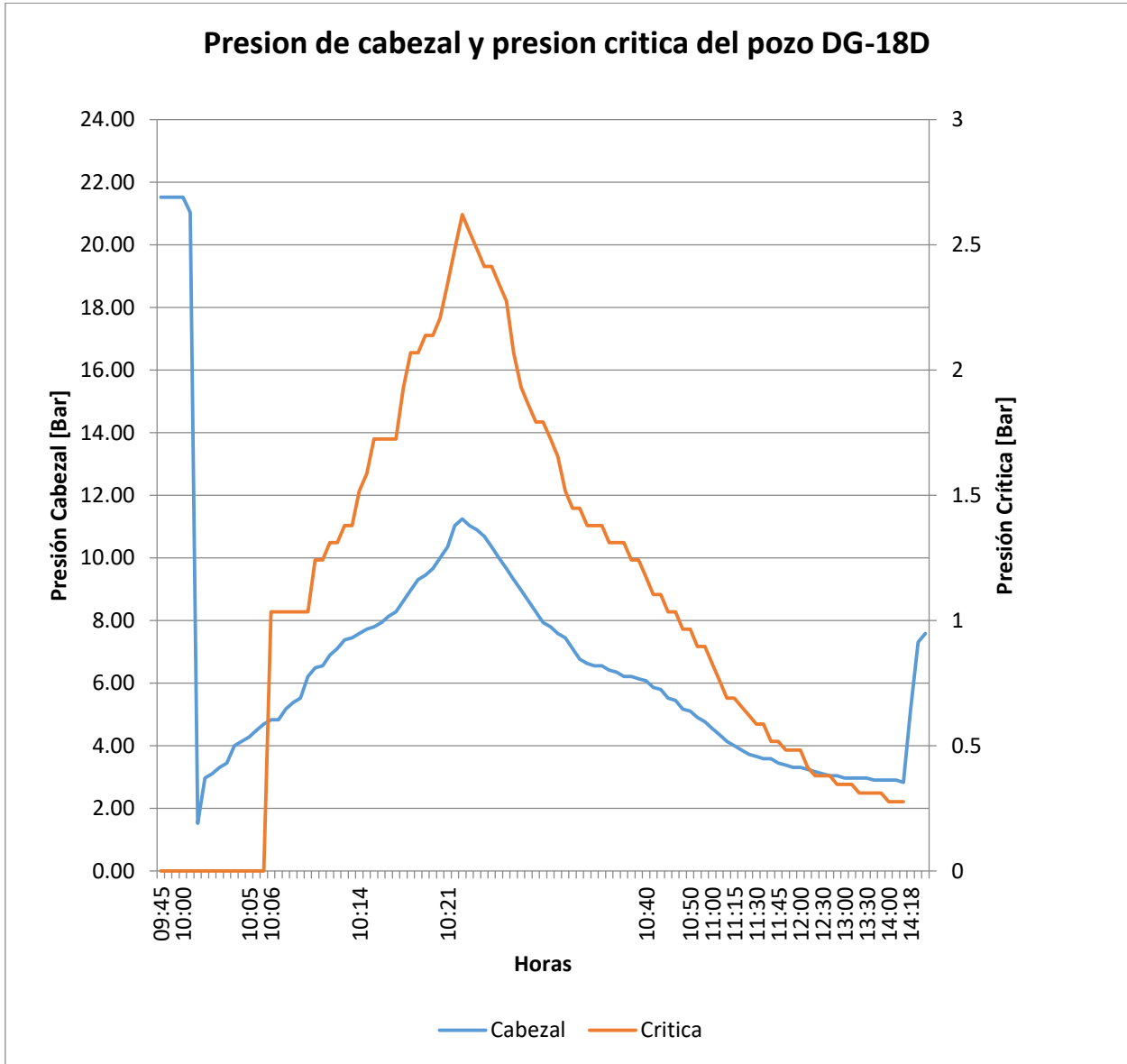


Figura 22. Presión de cabezal y crítica durante sexta descarga del pozo DG-18D, 02 febrero de 2017.

Resumen de Descargas

La Figura 23 representa un resumen cronológico de las seis descargas realizadas al pozo DG-18D, así como también los parámetros más importantes obtenidos, también ver Tabla 11.

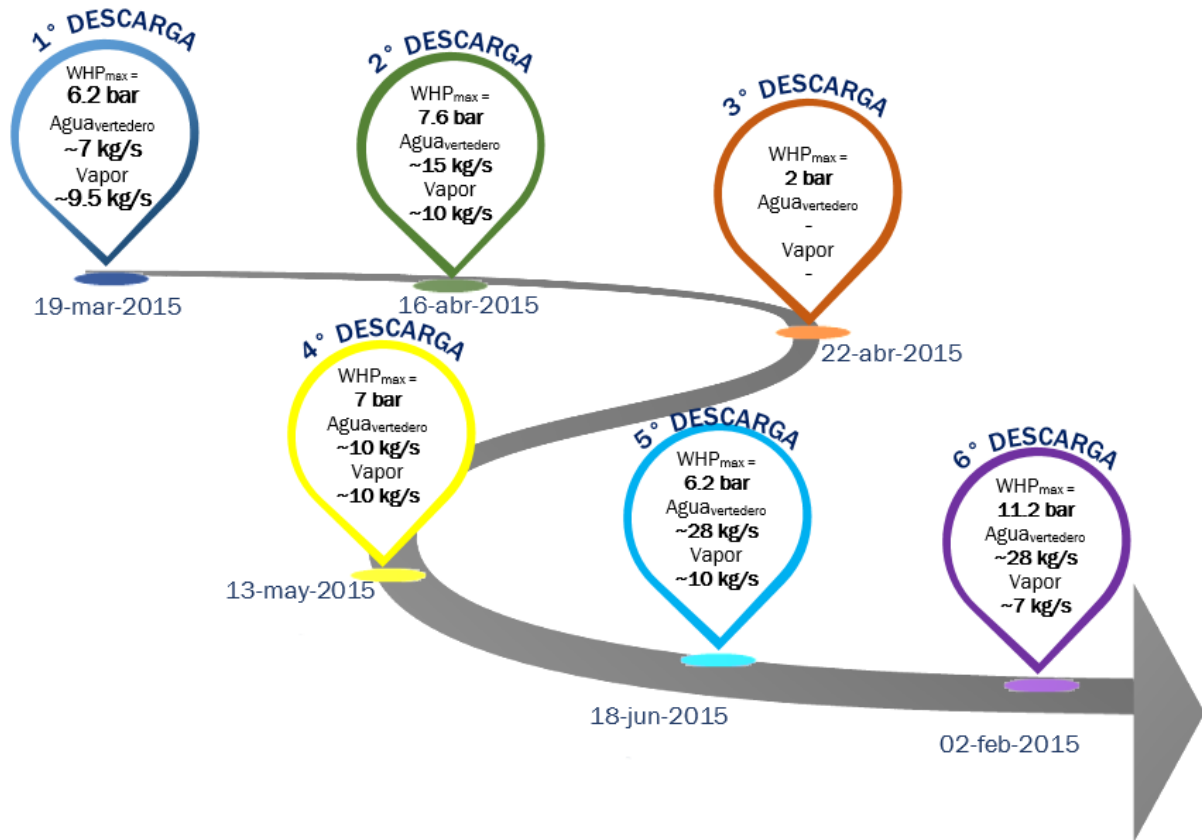


Figura 23. Resumen de eventos importantes durante las seis descargas pozo DG-18D.

Tabla 11. Presión de cabezal, flujo másico de vapor y agua registrados durante las pruebas de descarga.

DESCARGA	Presión de Cabezal (W_{hp}) [bar]	Flujo Másico Agua [kg/s]	Flujo Másico Vapor [kg/s]
1°	6.2	7	~9.5
2°	7.6	15	~10
3°	2.0	-	-
4°	7.0	~10	~10
5°	6.2	~28	~10
6°	11.2	~28	~7

Al final de las 6 descargas realizadas hasta la fecha en pozo DG-18D se le ha descargado un volumen de 3622 m³ de fluidos, ver Tabla 12.

Tabla 12. Volumen de fluidos descargados durante las seis aperturas realizadas al pozo DG-18D.

DESCARGAS DG-18D		
No.	Fecha	Volumen (m ³)
1	19-mar-2015	206.24
2	16-abr-2015	484.84
3	22 abr-2015	214.14
4	13-may-2015	1004.01
5	18-jun-2015	1019.31
6	02-feb-2017	694.4
TOTAL		3622.94

IV. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

4.1 Ubicación del pozo DG-18D

Estudiando los mapas de fallamiento de la zona sureste del campo geotérmico se identifica claramente un sistema de fallas y fracturas orientados en tres direcciones: E-O aproximadamente sobre el graben central, NNO y NE las cuales se consideran como zonas con permeabilidad buena a excelente y controlan el movimiento de fluidos en el área; el DG18-D se encuentra en dicho sector e intersecta las fallas Tacubita, 35 y el lineamiento NE lo que es favorable para los objetivos productivos del pozo.

Al proyectar el sistema de fallas cercanas a la plataforma con la dirección del pozo DG18-D, Figura 24 , se observa que el sector donde se presentaron pérdidas totales durante la perforación (1145 m MD) corresponde con la intersección de las fallas antes mencionadas, es decir, se alcanzó la zona permeable.

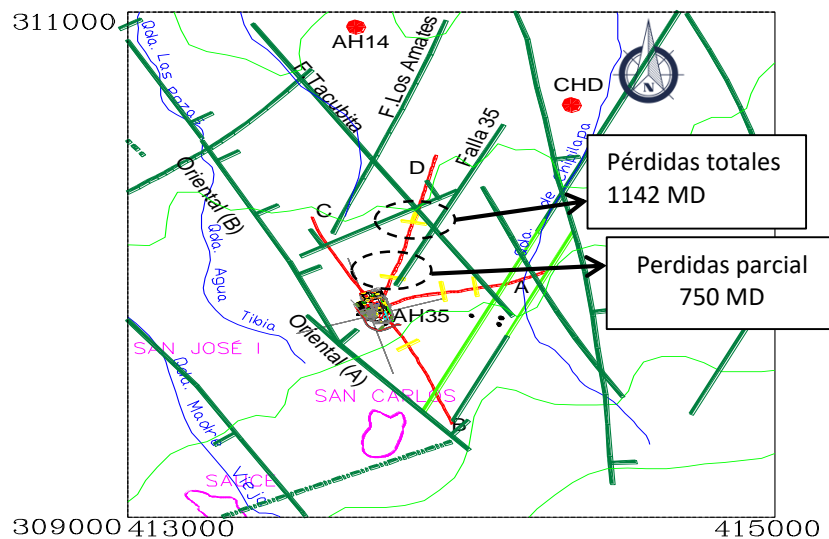


Figura 24. Estructura geológica de la zona sureste del campo geotérmico y ubicación de la plataforma DG18, intersección de fallas y proyección de zona de pérdidas.

El estudio realizado de análisis macroscópico y petrográfico de los recortes obtenidos durante la perforación describe una buena correlación entre las unidades litoestratigráficas y mineralógicas entre los pozos, Figura 25 y Figura 26, además se observa que el techo del reservorio sube a medida que existe desplazamiento hacia el norte, es decir, lo que se relaciona con las pérdidas totales encontradas.

En la figura iii se distinguen las unidades litológicas en cada pozo y se identifican las zonas de pérdidas totales, se señalan dos sectores en el pozo DG 18-D uno a 708-732 y otro a 1044-1412 m de profundidad TVD; es importante mencionar que el primer segmento no fue considerado como zona de alimentación en el momento de la perforación si no es hasta realizar la interpretación del registro dinámico (sección 4.2 del presente informe).

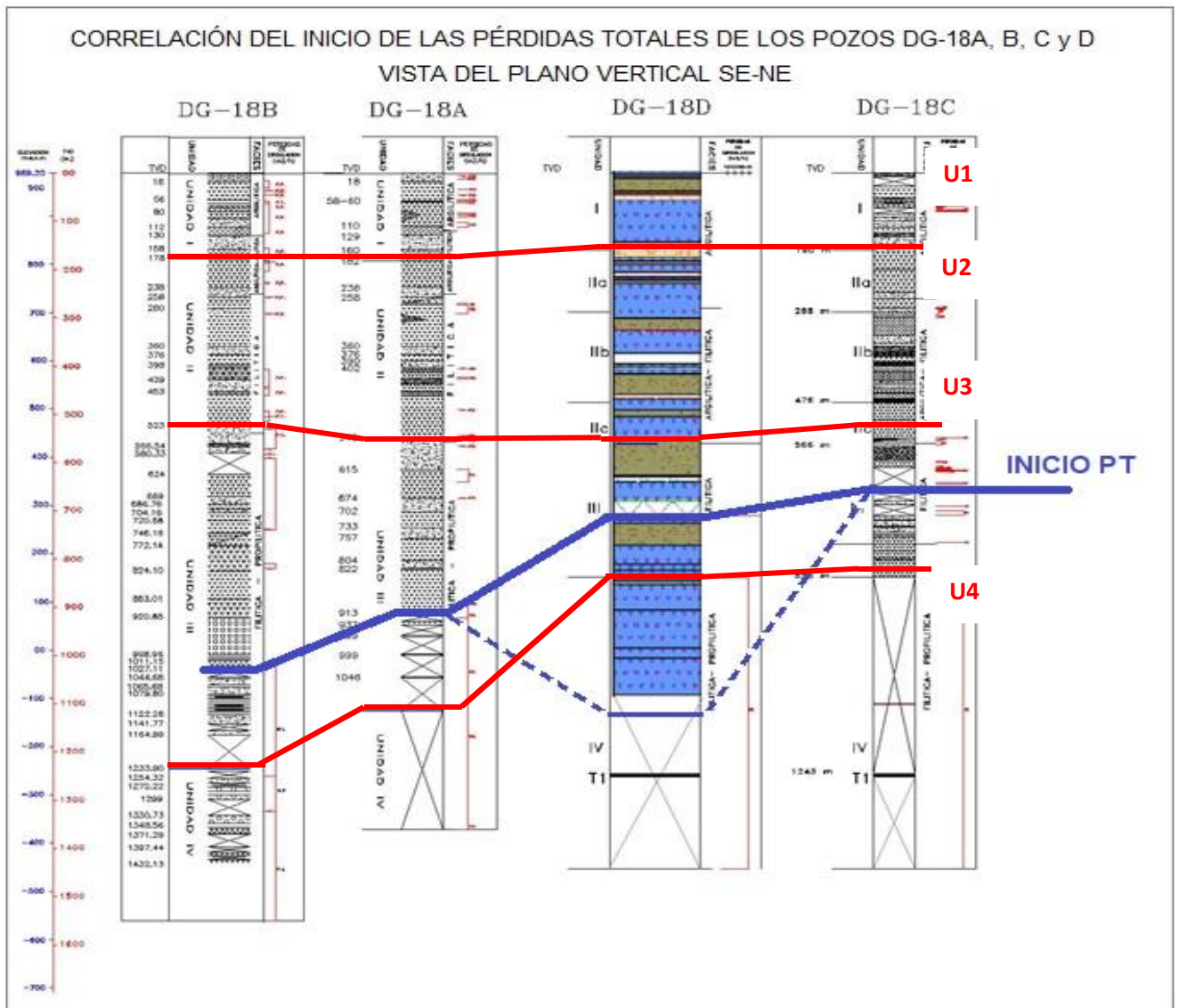


Figura 25. Correlación de unidades Litoestratigráficas de los pozos DG-18 A, B, C y D en el campo geotérmico.

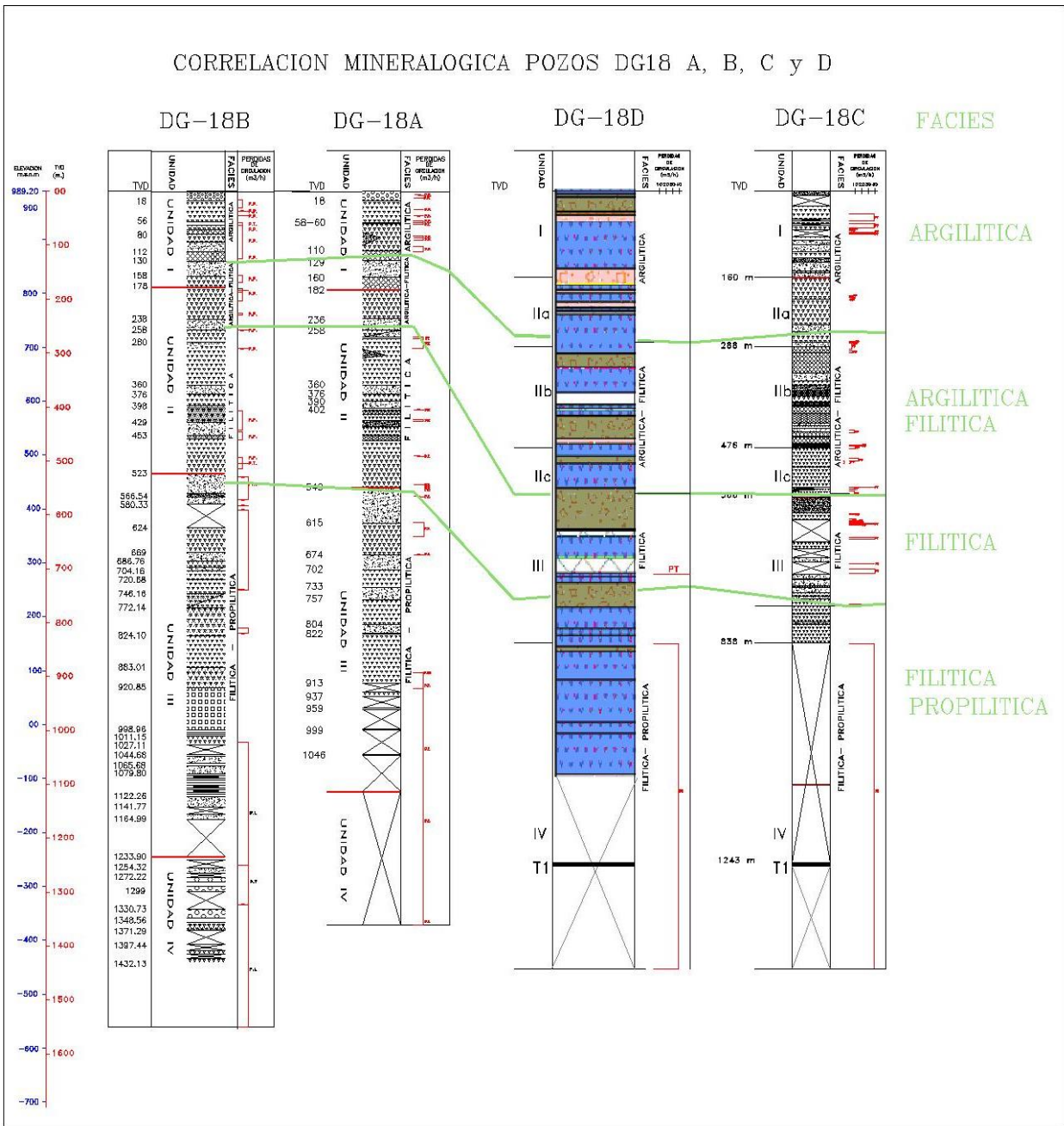


Figura 26. Correlación Mineralógica de los pozos DG-18 A, B, C y D en el campo geotérmico.

4.2 Interpretación de registro dinámico

Las pruebas de completamiento iniciaron con un registro dinámico (inyección de agua) y se identifican dos zonas de alimentación bien definidas, la primera a aproximadamente 750 m de profundidad y la otra 1450 m, ambas zonas se presentan (flecha azul) en la figura 26.

Se procedieron con las pruebas de inyectividad respectivas y se graficaron las condiciones del pozo al finalizar las pruebas, Figura 27, se identifica que hubo un incremento en el nivel libre del pozo de aproximadamente 110 m (equivalentes a ~11 bar) ya que en el descenso (070115_d1) el espejo de agua se encontraba a 272 m de profundidad y al finalizar la etapa del Fall Off este ascendió a 162 m, considerando dicho escenario existía la probabilidad de experimentar un rebalse al estar la columna de agua tan cercana a la superficie lo cual se atribuye a una absorción deficiente del pozo.

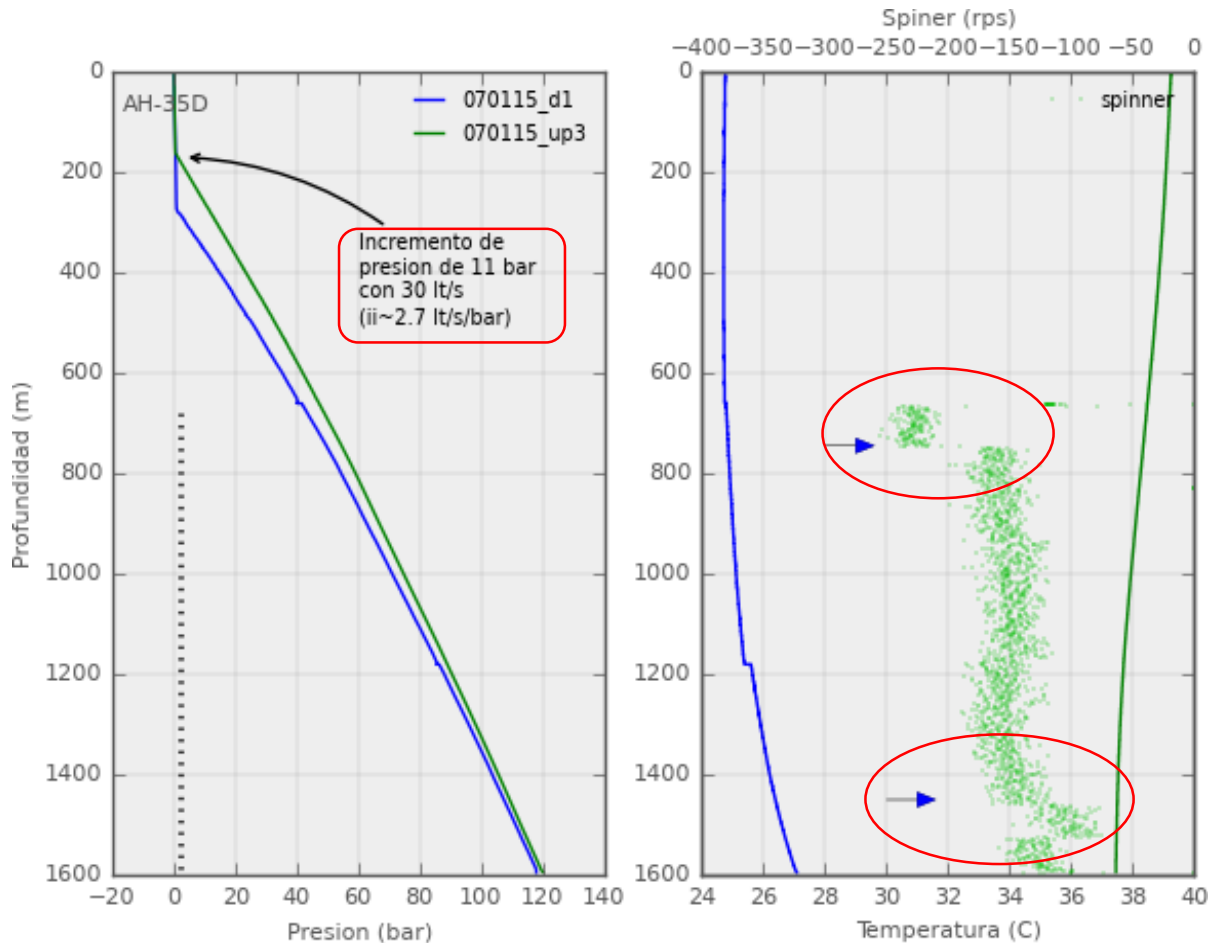


Figura 27. Primer registro dinámico DG-18D, 07 enero de 2015.

4.3 Interpretación de las pruebas de inyectividad

Utilizando la base de datos recolectada en las pruebas de inyectividad del pozo DG18-D y haciendo uso del Software "WellTester" de ISOR se identifica que:

4.3.1 Primera prueba de inyectividad.

Al depurar la información, y contemplando que la prueba fue suspendida por falta de agua, se observa que existe perdida en el transiente de presión, además no se logra ajustar un modelo con Welltester, Figura 28 y Figura 29, que sea representativo del pozo, por lo que dicha prueba se considera descartada, Tabla 13.

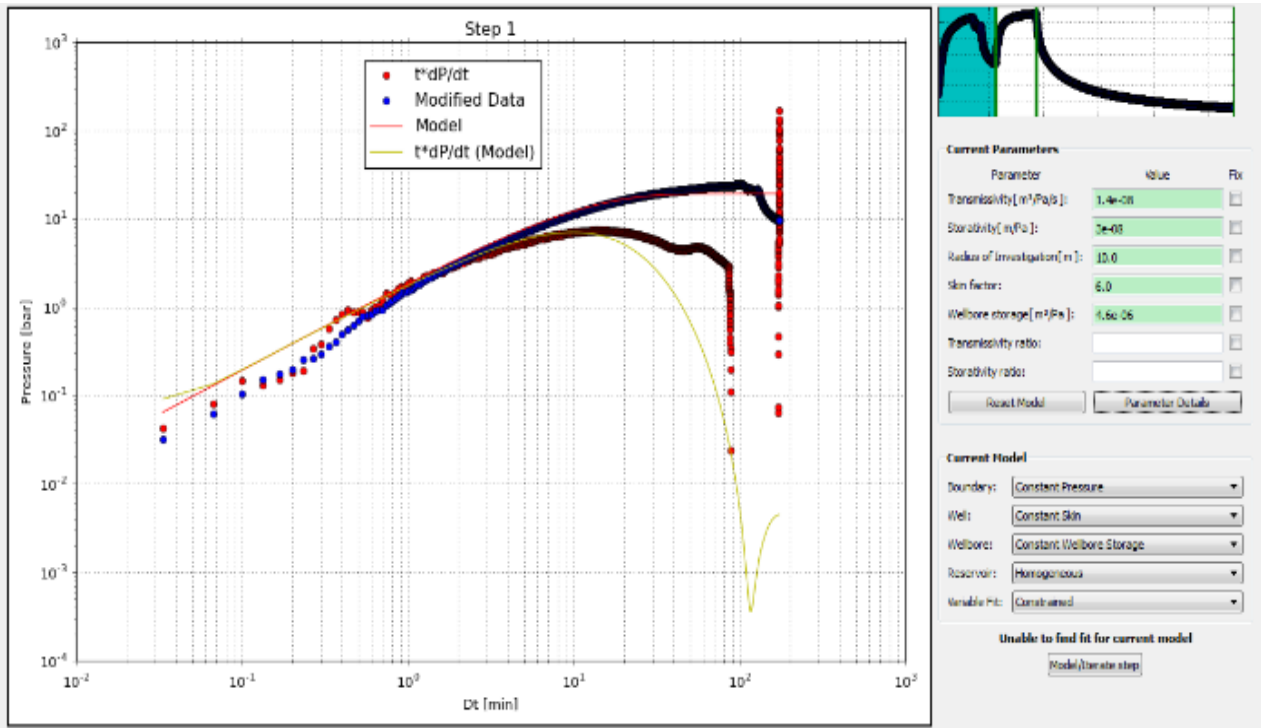


Figura 28. Modelaje con welltester para primera prueba de inyectividad y caudal 15 L/s pozo DG-18D.

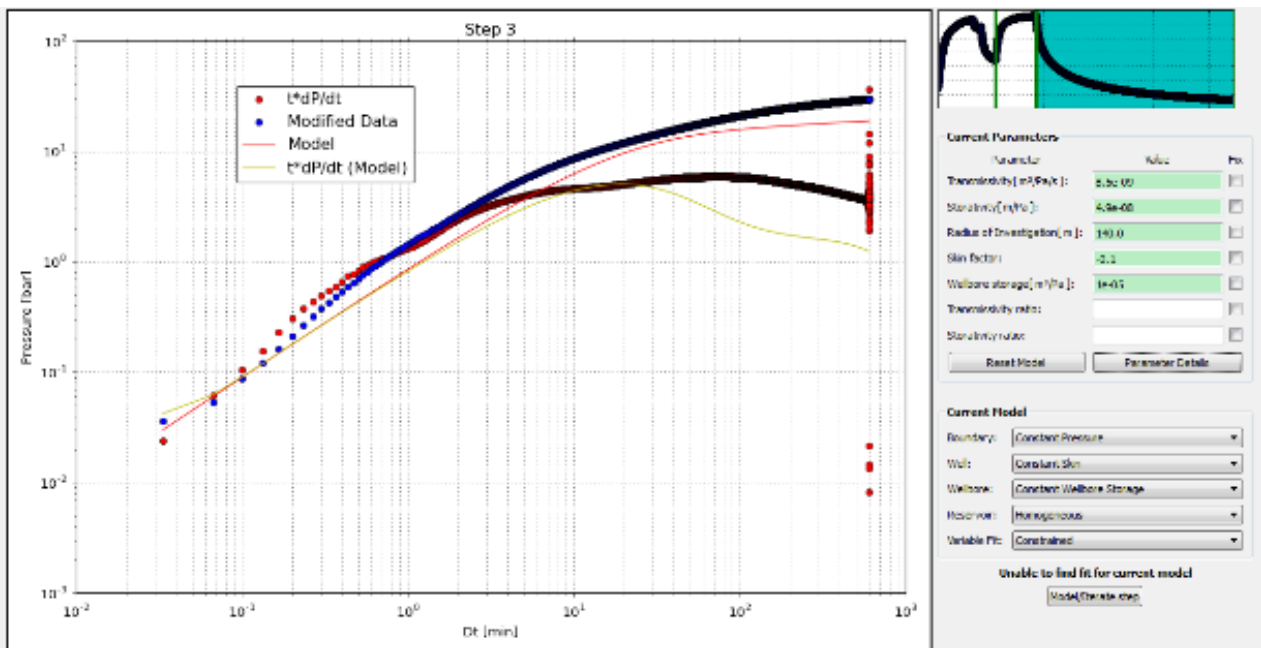


Figura 29. Modelaje Fall Off con welltester para primera prueba de inyectividad pozo DG-18D.

Tabla 13. Parámetros obtenidos con welltester para la primera prueba de inyectividad pozo DG-18D.

PARÁMETRO	INY.1 – 15 L/S	FALL OFF	PROMEDIO	UNIDADES
Transmisividad	1.3836E-08	8.51275E-09	1.12E-08	m ³ /Pa-s
Almacenaje	3.10826E-08	4.94121E-08	4.02E-08	m/Pa
Radio de investigación	12.1340	144.4608	78.30	m
Factor skin	6.48997	-0.1271	3.18	-
Almacenaje del pozo	4.61537E-06	9.97009E-06	7.29E-06	m ³ /Pa
Espesor de reservorio	193.1998	307.1272	250.16	m
Índice de inyectividad	0.7828	0.7976	0.79	L-s/bar
Permeabilidad efectiva	8.33486E-15	3.22583E-15	5.78E-15	m ²

4.3.2 Segunda prueba de inyectividad

La Figura 30 representa los datos registrados durante la segunda prueba de inyectividad, identificando las condiciones iniciales de 0 L/s y 42 barg, se observa que la presión alcanza un valor de aproximadamente 57 barg (incremento de 15 barg) al inyectar un flujo de 15 L/s y de 70 barg (incremento de 13barg) al duplicar el caudal a 30 L/s.

Es importante mencionar que en ambas etapas no se contempla estabilización y los incrementos de presión no son directamente proporcionales al aumento del caudal lo que indica que existe una anomalía con la permeabilidad del pozo; además, al graficar las condiciones iniciales, intermedias y finales del proceso no se logra ajustar la gráfica identificando un ΔP_{skin} de 4 barg y un índice de inyectividad de 1.24 L/s-bar, el cual es bajo al compararse con los alcanzados en otros pozos de la plataforma.

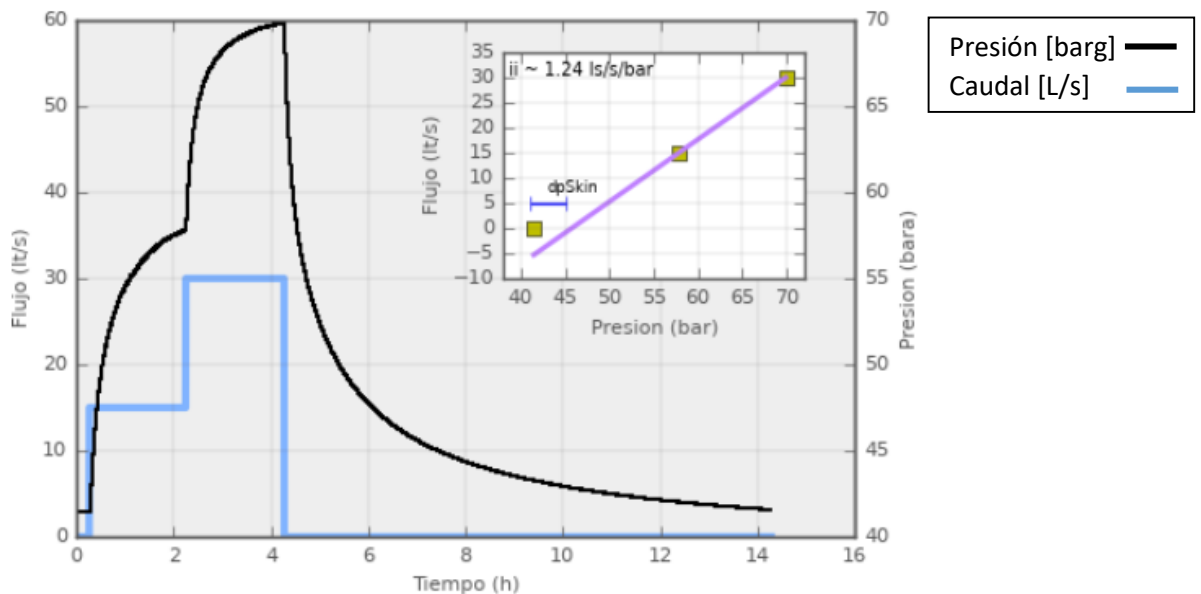


Figura 30. Datos registrados durante segunda prueba de inyectividad para caudales de 15 y 30 L/s pozo DG-18D.

Utilizando el Software WellTester se obtuvieron las Figura 31, Figura 32 y Figura 33, es decir, las gráficas de las etapas de 15 L/s, 30 L/s y “Fall Off” los cuales fueron ajustados al modelo obteniendo los resultados de la tabla 13, donde se observan valores del skin negativos o cercanos a cero, índice de inyección a 1 L/s-bar y una permeabilidad efectiva entre 2 y 5 mili-Darcy, nuevamente los parámetros indican que existe la posibilidad de problemas con permeabilidad al ser valores bajos comparados a los esperados, ver Tabla 14

Inyectividad 2- Caudal de 15 L/s

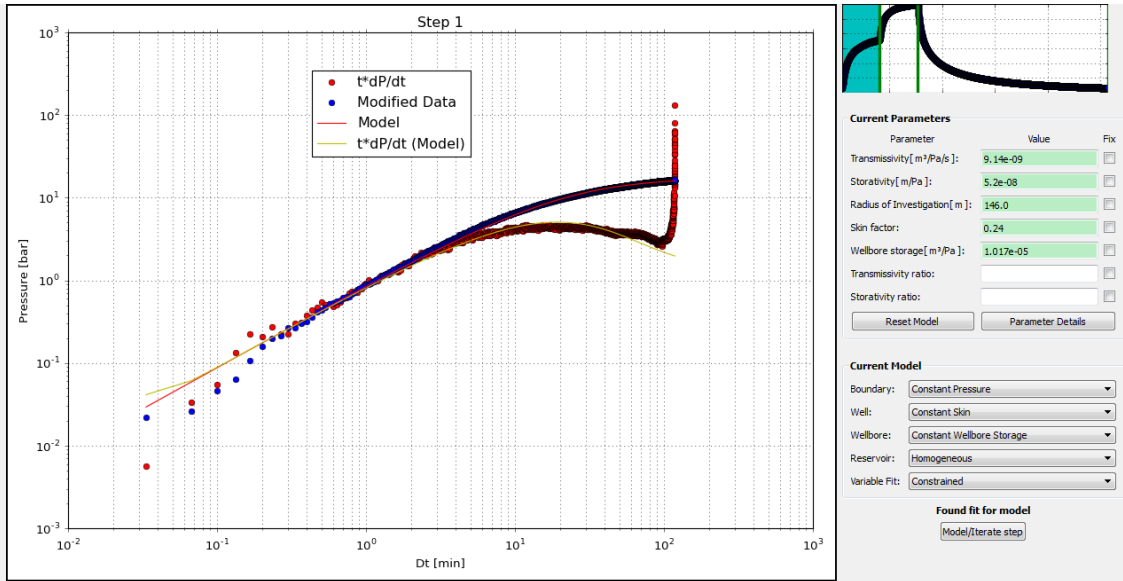


Figura 31. Modelaje con welltester para segunda prueba de inyectividad y caudal 15 L/s pozo DG-18D.

Inyectividad 2- Caudal de 30 L/s

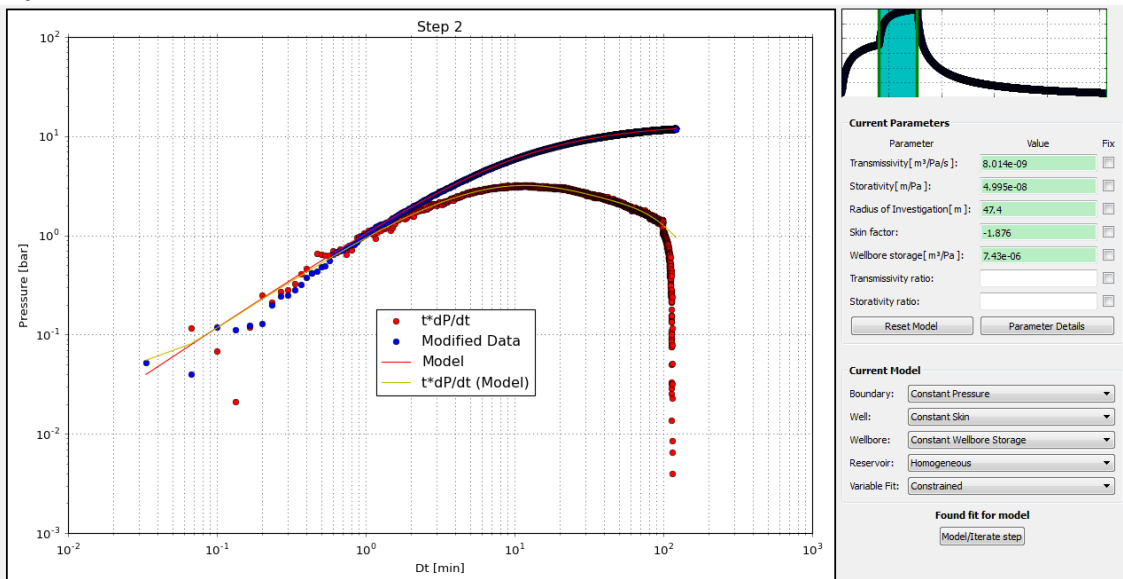


Figura 32. Modelaje con welltester para segunda prueba de inyectividad y caudal 30 L/s pozo DG-18D.

Inyectividad 2- Fall Off -

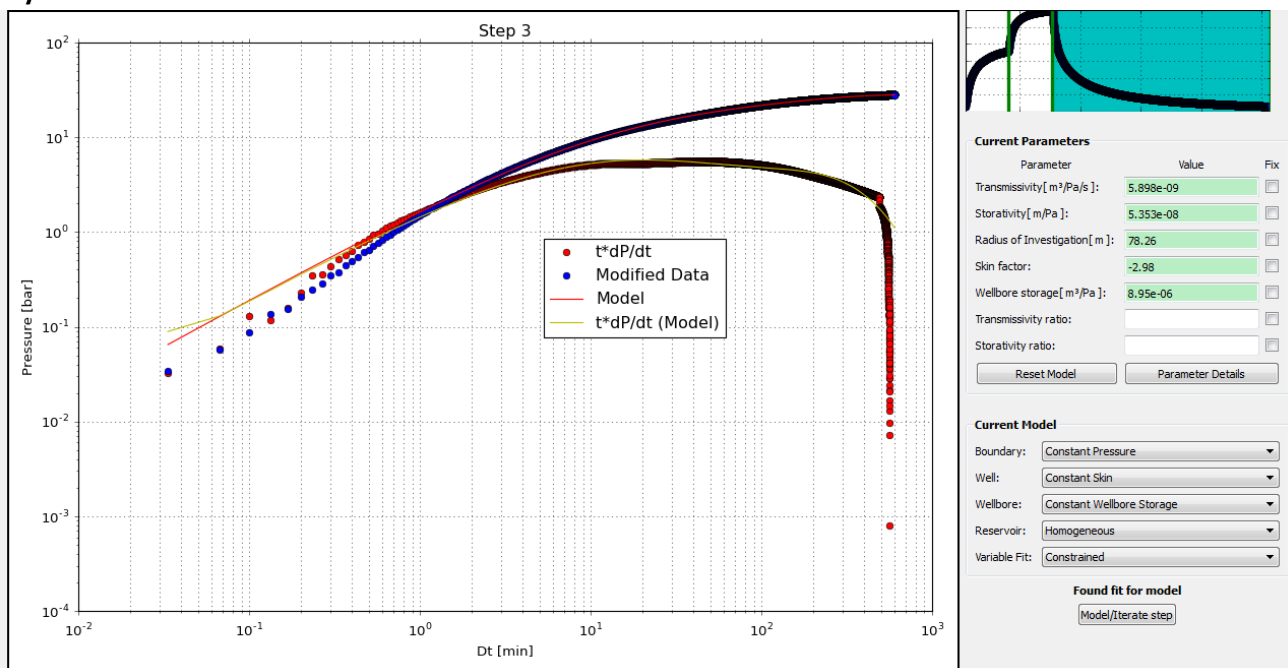


Figura 33. Modelaje Fall Off con welltester para primera prueba de inyectividad pozo DG-18D.

Tabla 14. Parámetros obtenidos con welltester para la segunda prueba de inyectividad pozo DG-18D.

PARÁMETRO	INY.2 – 15 L/S	INY.2 - 30 L/S	FALL OFF	PROMEDIO	UNIDADES
Transmisividad	9.1417E-09	8.0E-09	5.89837E-09	7.68E-09	m ³ /Pa-s
Almacenaje	5.17137E-08	4.995E-08	5.3531E-08	5.17E-08	m/Pa
Radio de investigación	146.3272	47.4005	78.2605	90.66	m
Factor skin	0.24472	-1.8762	-2.9795	-1.54	
Almacenaje del pozo	1.01688E-05	7.42974E-06	8.94591E-06	8.85E-06	m ³ /Pa
Espesor de reservorio	321.4331	310.4708	332.7287	321.54	m
Índice de inyectividad	0.9369	1.2631	1.0701	1.09	L-s/bar
Permeabilidad efectiva	3.30999E-15	3.00407E-15	2.06316E-15	2.79E-15	m ²

Resumen y comparación de las pruebas de inyectividad pozos en plataforma DG18

A todos los pozos en la plataforma DG-18 se les efectuó en su momento su respectiva prueba de inyectividad, sin embargo los pozos DG18 A, B y C respondieron a las pruebas de forma anómala, Figura 34.

El pozo DG18-D es la excepción mostrando respuesta positiva a la inyección de agua con una amplitud de al menos 15 Bar entre un caudal de 0 l/s hasta una inyección de 15 l/s, cuando se cambió a un caudal de 30 L/s se mostró un ΔP 13 Bar, al analizar la data en el software welltester se observa un baja permeabilidad de 2-5 milidarcy, un skin de -1.54, un índice de inyectividad bajo de 1.2 l/s-bar, lo cual no es representativo de los demás pozos, sin embargo cabe recalcar que a la fecha que se realizó esta prueba se estaban finalizando los trabajos de perforación del pozo y no tenía ningún proceso de limpieza o descarga de fluidos, por tanto se recomienda que se siga descargando el pozo hasta cuantificar una masa igual a la inyectada durante la perforación.

Comparacion pruebas de inyectividad (DG-18'S)

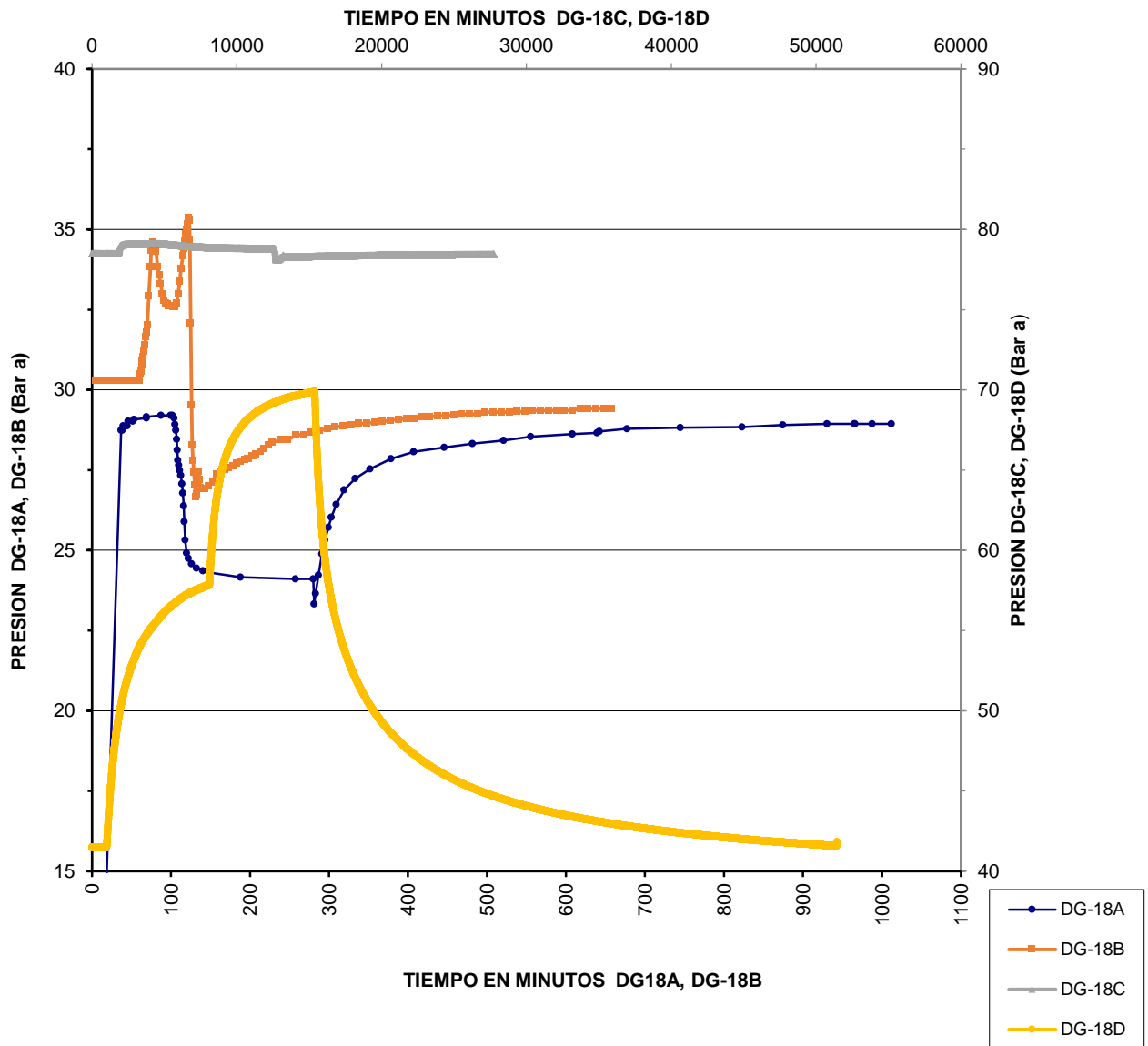


Figura 34. Comparación de resultados obtenidos en las pruebas de inyectividad para cada pozo de la plataforma DG18.

4.4 Análisis y comparación recuperación térmica pozos plataforma DG18

Recuperación térmica pozos plataforma DG18's (A, B, C y D)

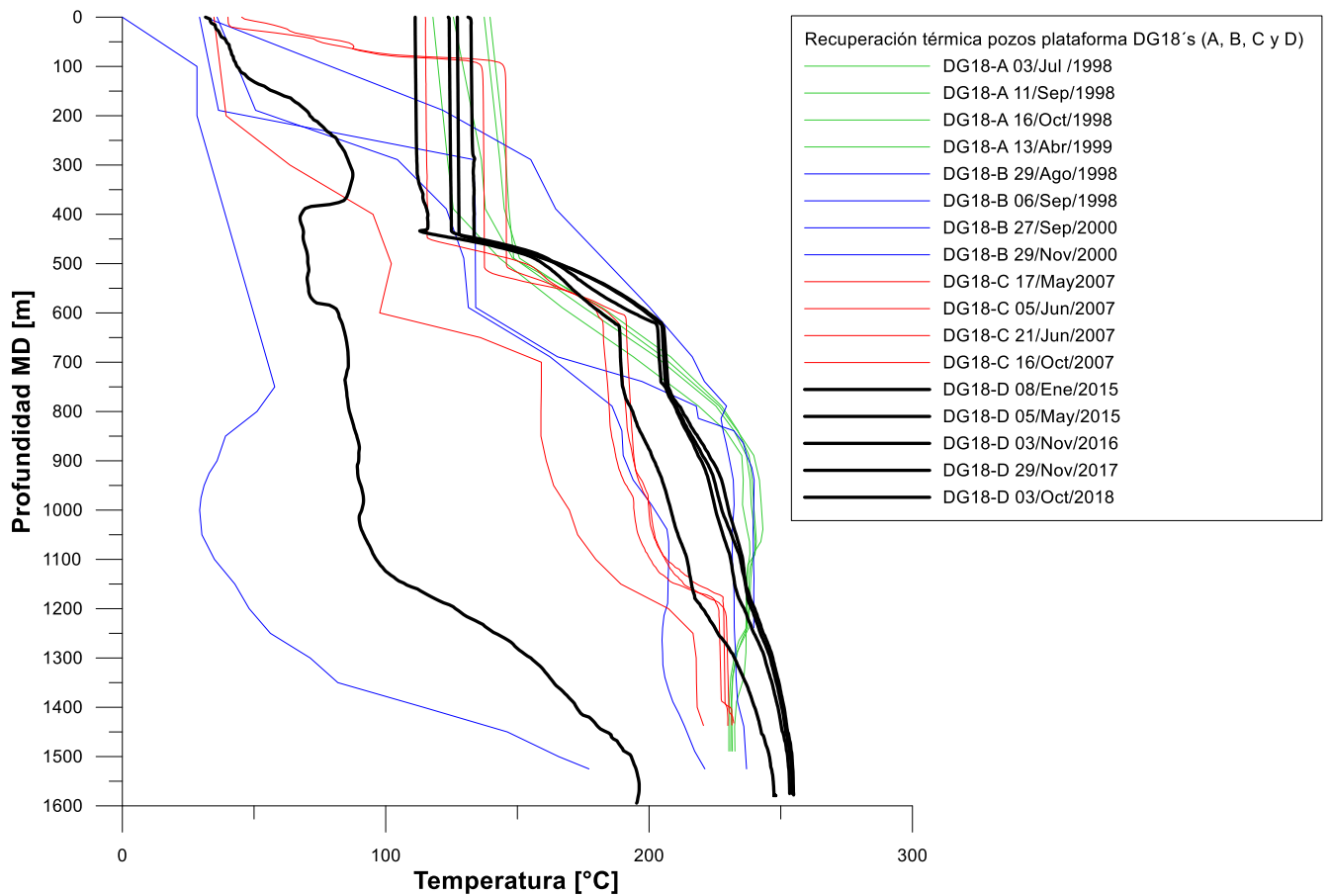


Figura 35. Recuperación térmica pozos en plataforma DG18.

Estudiando la Figura 35 y los datos disponibles de la plataforma DG18 se observa que el pozo DG-18D presentó una temperatura máxima de 196.06°C a 1576 m de profundidad (MD) en el primer registro estático realizado al finalizar la perforación el 08/enero/2015 y fue evolucionando hasta alcanzar los 254.89 °C el 03/octubre/2018, es decir, que en 1364 días (3.7 años) la temperatura aumento 58.83°C a una razón de 1.31°C/mes.

Analizando y comparando con los periodos de recuperación térmica de los demás pozos de la plataforma, Figura 36, el DG18-D posee la mayor temperatura con similar tendencia de recuperación, dicha de otra manera, alta en los primeros días y más estable al final.

POZOS DG18 A, B, C Y D - MAYOR TEMPERATURA REGISTRADA AL FINALIZAR LA PERFORACIÓN Y SU EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DURANTE LA RECUPERACIÓN TÉRMICA

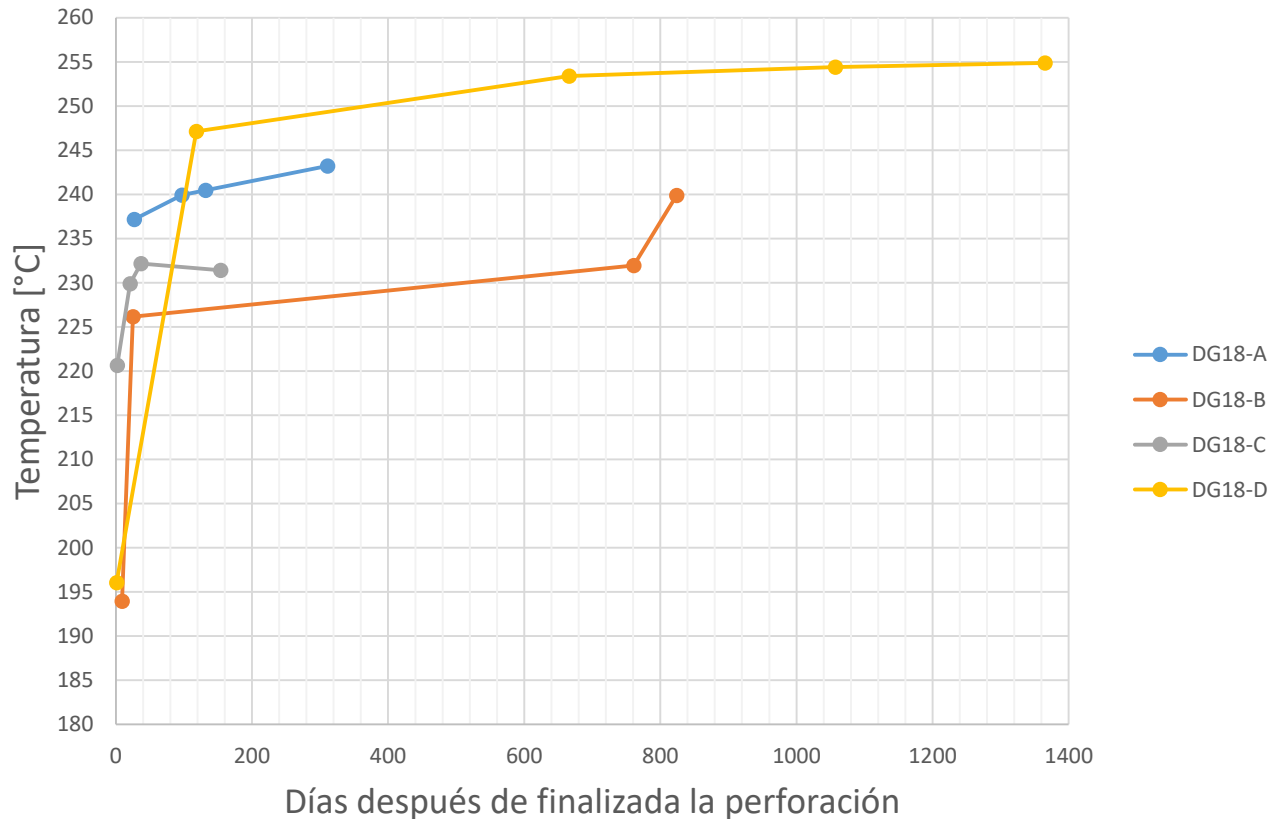


Figura 36. Mayor temperatura registrada al finalizar la perforación y su evolución en el tiempo durante la recuperación térmica en pozos DG-18 A, B, C y D.

Al correlacionar el aumento de temperatura con respecto al tiempo de los pozos DG18 A, B y C de 0.65, 1.71 y 2.15 °C/mes respectivamente, se observa que el DG18-D (1.31°C/Mes) es similar y por lo tanto comparte características en recuperación térmica con los demás pozos productores de la plataforma, ecuación 5 y Tabla 15.

$$\text{Para } \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{mes}} \text{ el } DG18C > DG18B > DG18D > DG18A$$

Ecuación 5. Correlación del aumento de temperatura con respecto al tiempo de los pozos DG18 A, B, C y D.

Tabla 15. Análisis de recuperación térmica pozos DG18 A, B, C Y D.

POZO	ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN TÉRMICA POZOS DG18 A, B, C Y D DE LA CENTRAL GEOTÉRMICA						Δ °C/Mes
DG18-A	FIN DE PERFORACIÓN	REGISTROS ESTÁTICOS					0.65
	06-jun-98	03-jul-98	11-sep-98	16-oct-98	13-abr-99		
	Temperatura [°C]	237.18	239.91	240.45	243.22		
	Días después de perforación	27	97	132	311		
DG18-B	FIN DE PERFORACIÓN	REGISTROS ESTÁTICOS					1.71
	28-ago-98	06-sep-98	22-sep-98	27-sep-00	29-nov-00		
	Temperatura [°C]	193.96	226.16	231.97	239.9		
	Días después de perforación	9	25	761	824		
DG18-C	FIN DE PERFORACIÓN	REGISTROS ESTÁTICOS					2.15
	15-may-07	17-may-07	05-jun-07	21-jun-07	16-oct-07		
	Temperatura [°C]	220.66	229.89	232.16	231.42		
	Días después de perforación	2	21	37	154		
DG18-D	FIN DE PERFORACIÓN	REGISTROS ESTÁTICOS					1.31
	07-ene-15	08-ene-15	05-may-15	03-nov-16	29-nov-17	03-oct-18	
	Temperatura [°C]	196.06	247.12	253.38	254.41	254.89	
	Días después de perforación	1	118	666	1057	1365	

4.5 Análisis de registros dinámicos en descarga

4.5.1 Registro especial (13 mayo 2015).

Antes de ejecutar la inducción al pozo, se presurizó a 20 Bar y se descendió la herramienta PTS GS5152 hasta el fondo. Iniciado el flujo se realizaron 3 ascensos (up spinner) y 3 descensos (down spinner).

En la Figura 37 se identifica que durante el primer descenso en condiciones estáticas, al mismo tiempo las barridas spinner (3 descensos y 3 ascensos), la presión tiene un descenso en el nivel hidráulico hasta llegar cerca de los 1400 metros de profundidad, observando el comportamiento en superficie donde la presión de cabezal llega hasta valores de cero, el pozo pierde su nivel hidráulico y luego lo recupera al reiniciar su producción. La temperatura en el interior del pozo presenta un comportamiento similar al de la presión.

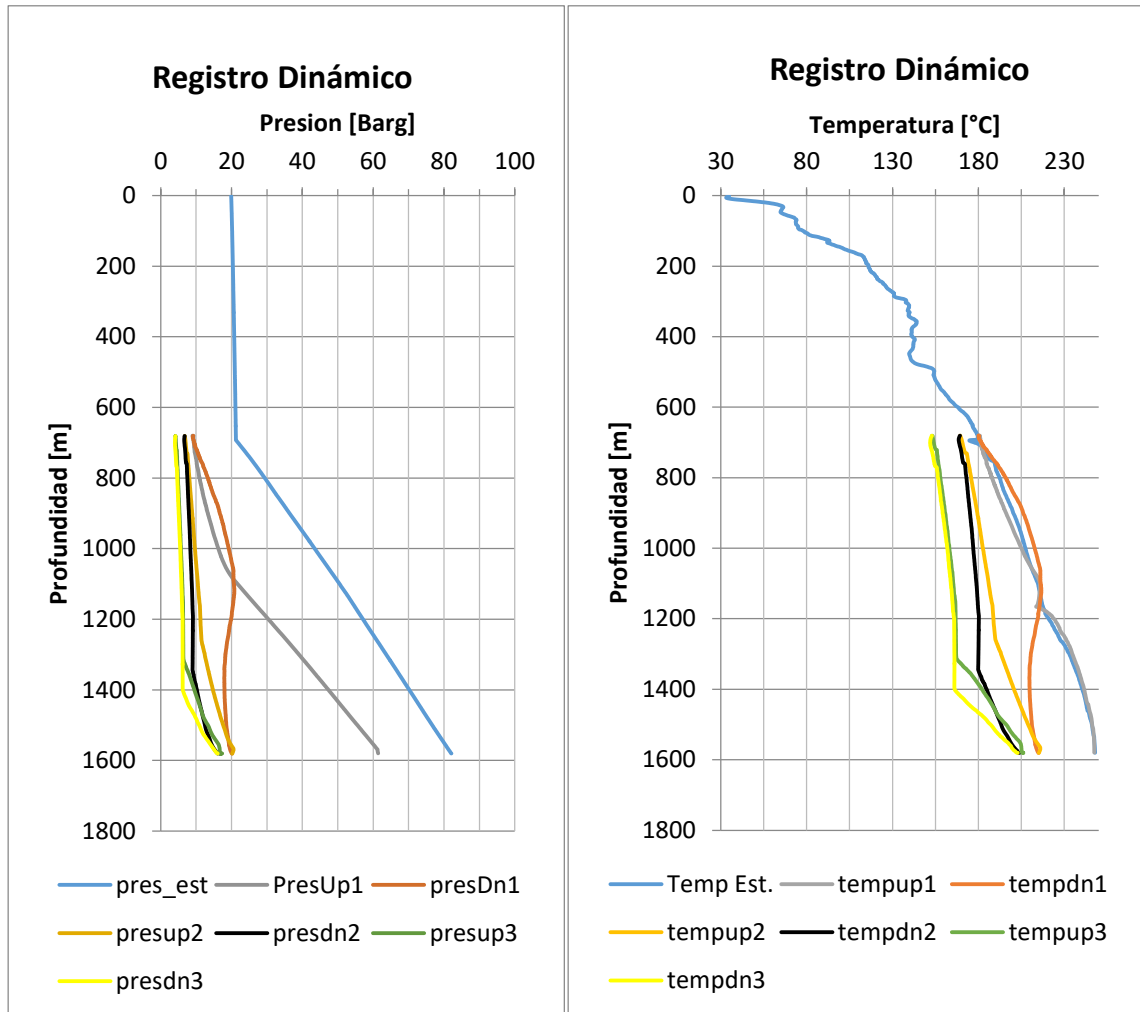


Figura 37. Presión y temperatura durante el registro dinámico en descarga, 13 mayo de 2015.

En la Figura 38 se observa cómo se comportó el spinner en cada una de las barridas, se puede visualizar que el spinner no trabajó bien durante el primer ascenso-descenso (up1-dn1), en las siguientes barridas se puede ver una zona de alimentación (figura 40 grafica derecha) a los 1200 metros aproximadamente y otra alrededor de los 700 metros, ambas zonas se presentaron durante la perforación y los registros de completamiento.

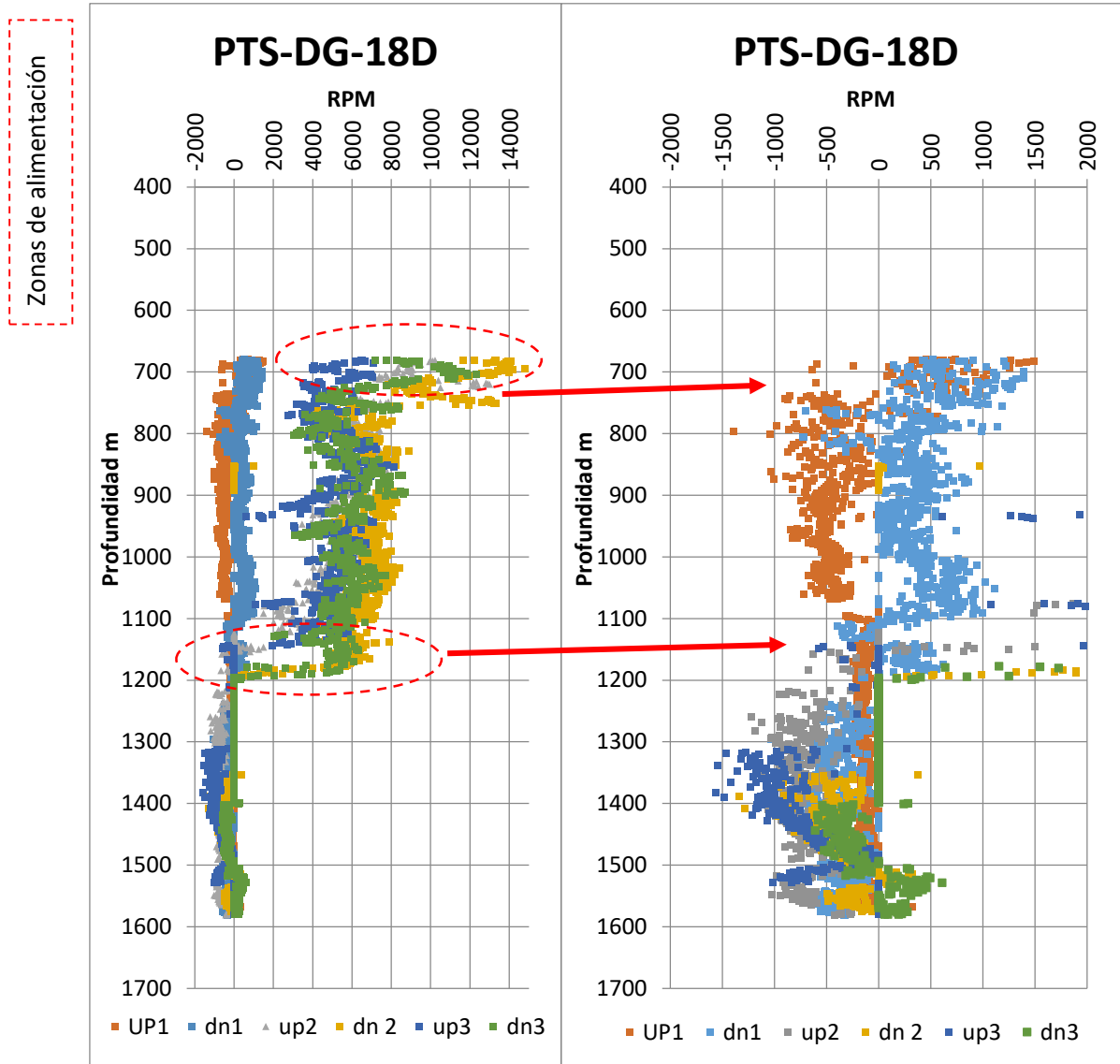


Figura 38. Izquierda todos los spinner, derecha zoom a los primeros spinner

Por último se realizaron dos estaciones, la primera en el fondo del pozo sin observar movimiento del spinner y la segunda a los 900 metros de profundidad pudiendo observar en promedio 5200 rpm en el spinner (ver Figura 39) garantizando una zona de alimentación cercana a esa profundidad, muy probablemente la zona de los 1200 metros.

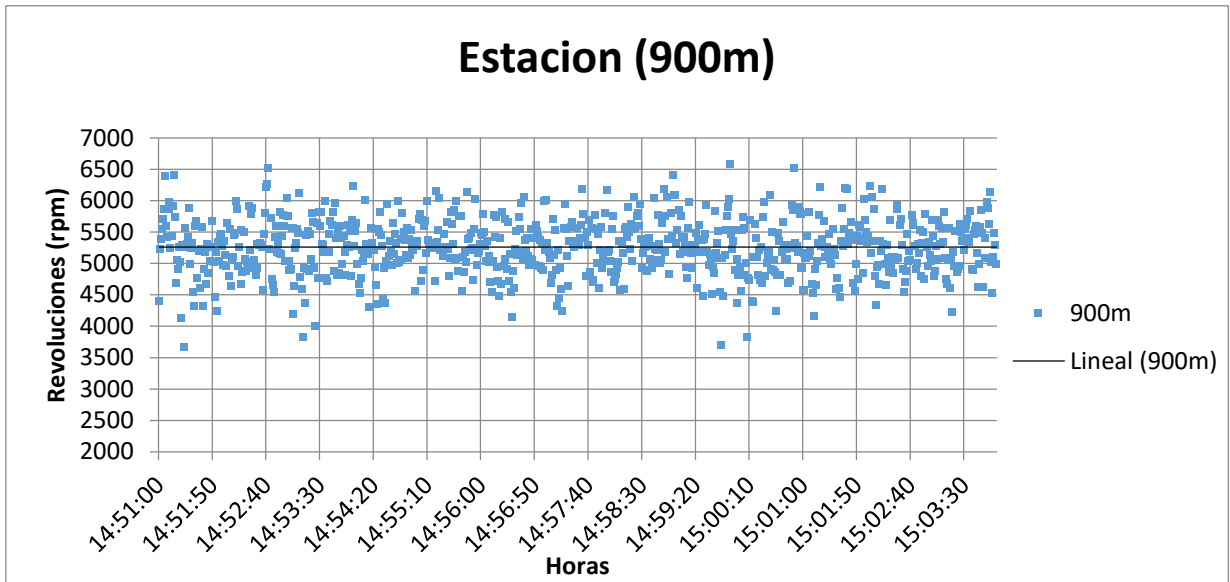


Figura 39. Estación a los 900 metros de profundidad durante registro dinámico en descarga.

4.6 Quimismo de pozo

Para estudiar la evolución química del pozo DG-18D en el tiempo se han graficado los resultados del quimismo realizado a los fluidos obtenidos en las pruebas de descarga, específicamente Cl y B ya que son los elementos más conservativos, y se han comparado con los resultados de los demás pozos en la plataforma.

La concentración de cloruros en el DG18-D ha ido aumentando con el pasar del tiempo, tal y como se puede observar en la Figura 40, alcanzado el valor máximo de 4756 ppm en febrero de 2017 (ultima descarga del pozo), lo que significa que el fluido tiende a adquirir características del reservorio profundo salino con cada descarga. También con los resultados de las últimas pruebas el DG-18D mantiene concentraciones similares con los demás pozos productores de la plataforma.

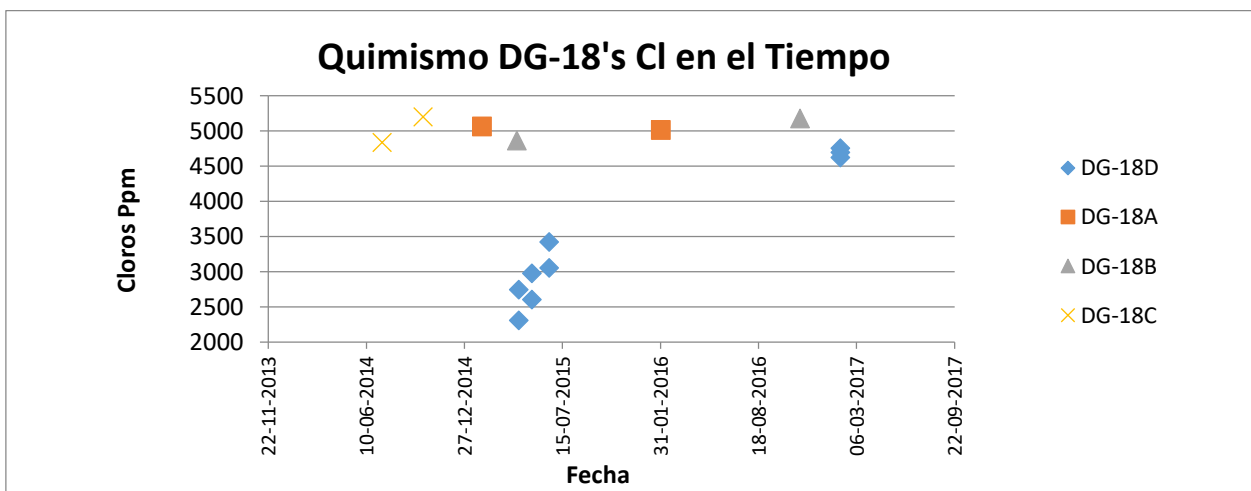


Figura 40. Quimismo DG-18's Cl en el tiempo.

Se han analizado concentraciones de Boro (Figura 41) los cuales han ido en aumento con respecto al tiempo, y al igual que los Cloruros, los fluidos tienden a adquirir características del reservorio profundo salino con cada descarga.

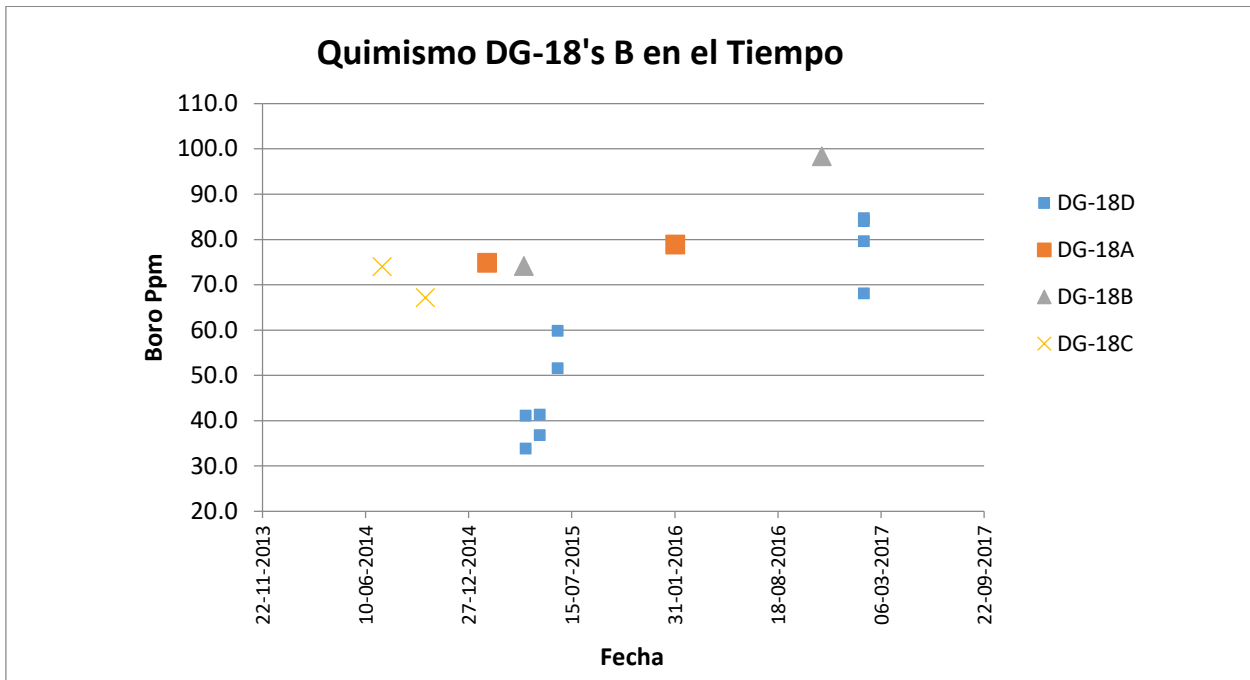


Figura 41. Quimismo DG-18's B en el tiempo.

Para determinar el origen y el estado actual de las aguas del pozo DG18-D se graficó la relación Cl/B (Figura 42) las cuales han alcanzado una relación de ~55 a 66, lo que significa que los fluidos están adquiriendo características similares al de los pozos DG18 A, B y C en los cuales se encuentra valores promedio de 65 a 68 y por lo tanto provienen de un reservorio profundo común.

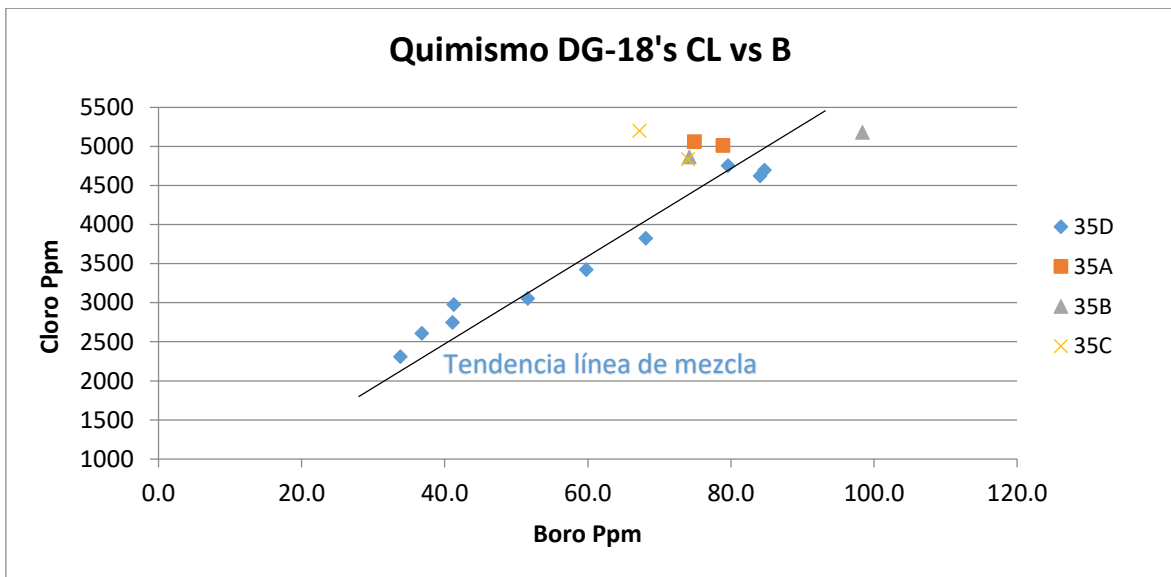


Figura 42. Quimismo DG-18's Cl Vs. B.

4.7 Producción

En el caso del pozo DG-18D, en ninguna de las descargas pudo mantener sus parámetros productivos, en cada inducción realizada se observaba el mismo comportamiento alcanzando una parámetros productos altos y luego decayendo gradualmente en el tiempo hasta llegar a una presión de cero, pasando un par de minutos el pozo reiniciando el proceso de descarga sin estabilizar sus parámetros en el tiempo.

Por otra parte el pozo DG-18C es el más permeable de la plataforma entregando una masa extraída total de 126 kg/s, siendo el mejor productor con 20 kg/s de vapor y una presión de cabezal de 8.6 Bar, seguido por el pozo DG-18A con una masa extraída total de 66 kg/s con una masa de vapor de 7.7 kg/s a una presión de cabezal de 6.8 Bar y por último el DG-18B con una masa extraída total de 39 kg/s, descargando a una presión de cabezal de 8.6 Bar con una masa de vapor de 5.1 kg/s, ver Tabla 16.

Tabla 16. Resumen de los parámetros productivos de los pozos DG18 A, B y C.

POZO	WHP (bar)	MI (kg/s)	Mv (kg/s)	H (kJ/kg)	Fin de perf.	I.I (L/s-bar)
DG-18A	6.8	59.0	7.7	916.8	06-jun-98	166.44
DG-18B	7.7	34.0	5.1	947	28-ago-98	3.48
DG-18C	8.6	106.9	20.4	1014.7	15-may-07	40-70

Tomando en cuenta el estado actual del pozo DG18-D descrito en las secciones anteriores y considerando se encuentra ubicado entre los pozos DG18 A y C de la plataforma se espera que con las recomendaciones descritas en el presente informe alcance las condiciones operativas en cuanto a producción para lo cual fue perforado.

V. CONCLUSIONES

1. De los tres pozos previamente perforados en la plataforma DG-18, el pozo menos productor es el perforado hacia el sur y los mejores productores son los perforados hacia el norte, por lo tanto, haber dirigido al pozo DG-18D hacia el norte, haberlo enrumbado justo al centro de los dos mejores pozos comprobados de la plataforma y buscar intersectar sus correspondientes fallas suponía una decisión acertada desde todo punto de vista técnico.
2. Los estudios geofísicos utilizados para la selección del rumbo del pozo DG-18D no arrojan ninguna evidencia que discrimine la zona norte de la plataforma para nuevas perforaciones. Por el contrario, dicha zona presenta menores resistividades que la zona sur, la mayoría de pozos productores están en zona conductiva indicando que el reservorio se encuentra en esta zona, y lo comprueba el 62% de probabilidad de éxito que exponen los geofísicos.
3. En relación a la etapa de construcción del pozo DG-18D y a partir de la información disponible, se ha encontrado que únicamente los lodos y recortes utilizados durante la perforación comprometen el estado productivo actual del pozo, ya que en todas las descargas realizadas se observó la presencia de este tipo de fluidos.

4. La prueba de inyektividad realizada el 9 de enero de 2015 presentó un índice de 1.25 L/s-bar, valor que indica baja permeabilidad y contrasta significativamente con los valores obtenidos en pozos vecinos, de 40 y 166 L/s-bar.
5. Las pruebas muestran un Skin de -1.5 reflejando que no existe daño en formación, sin embargo este dato no concuerda, considerando que el pozo aún posee fluido de perforación, y se comprueba con las descargas que aun expulsa lodos, además se observa vapor en exceso durante las descargas probablemente a la existencia de “*steam cap*” a los 750 metros, que puede afectar los resultados.
6. Los perfiles de recuperación térmica muestran que el pozo DG-18D registra la mayor temperatura de la plataforma, alcanzado valores máximos de 254 °C.
7. El pozo DG-18D tiene dos zonas importantes de alimentación la primera entre los 730-750 metros y la segunda entre los 1142-1600 metros.
8. La huella química presentada en el DG18-D establece que los fluidos están adquiriendo características similares a las obtenidas en los demás pozos de la plataforma y provienen de un reservorio en común, por tanto las descargas realizadas han ayudado a alcanzar dicho estado químico.
9. Finalmente con toda la información disponible en el presente informe, actualmente el pozo DG-18D no cumple con todas las condiciones necesarias para ser productor.

VI. RECOMENDACIONES

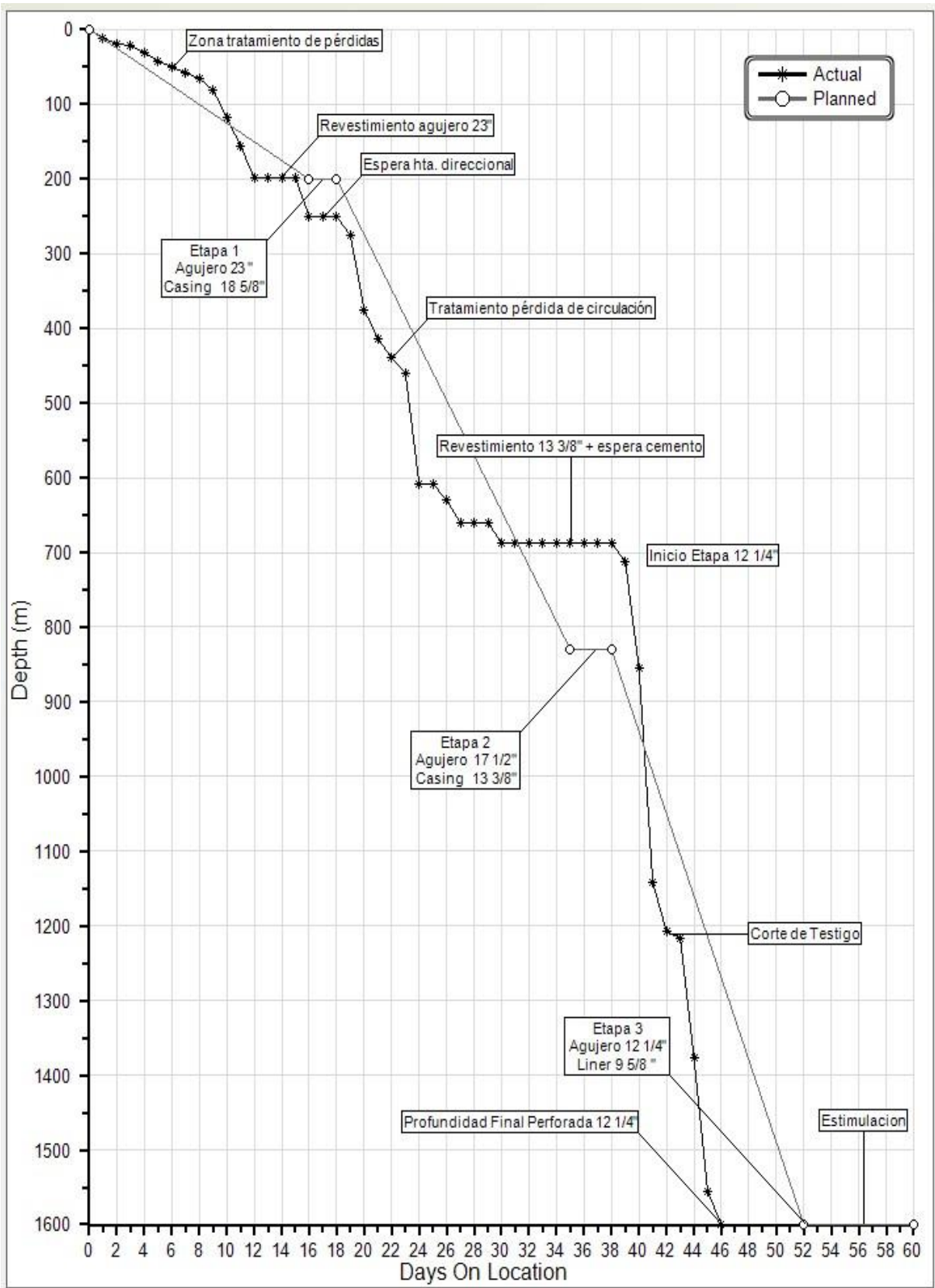
1. Realizar una actualización de la geología, estructural de la zona a con el objetivo de mejorar la calidad de la información a futuras perforaciones.
2. Para garantizar comprobar la integridad física de la tubería al interior del pozo se recomienda hacer un registro multifinger-Cáliper, la información descartaría por completo o confirmaría alguna deformación o rotura.
3. Una técnica utilizada en geotermia para mejorar la permeabilidad de los pozos es el “*cracking*” que consiste en fracturar la roca con altas presiones sin embargo no se recomienda realizar dicha técnica en este pozo debido a los problemas de cementación reflejados en reportes CBL.
4. A pesar de que existe una respuesta favorable en el quimismo del pozo DG18-D (características de fluidos similares al reservorio obtenidas en otros pozos) es importante considerar que aún existe presencia de fluidos de perforación, por lo que, a fin de eliminar el posible daño en formación se propone:
 - 4.1 Descargar el pozo el tiempo necesario.
 - 4.2 Realizar prueba dinámicas PTS y de inyektividad previo a una estimulación química, con tiempo mayor a dos horas con el objeto que se logre la estabilización de la presión que no se tuvo en las pruebas de completamiento.
 - 4.3 Realizar estimulación química con torre de perforación en 2 etapas, centrándose en las zonas más importantes del reservorio.
 - 4.4 Finalmente, realizar prueba PTS y de inyektividad post limpieza química para re-evaluar las condiciones productivas del pozo.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M. C. (2004). Use of naturally occurring tracers to monitor two phase condition in the coso EGS.
- Horne, R. N. (1990). Modern well test analysis. In R. N. Horne, *Modern well test analysis*.
- Melosh, G. (2015). *Geothermal Well Targeting Method Using Structural Irregularities*.
- Nicolson, J. E. (1982). *Geothermal well completions a survey and technical evaluation of existing equipment*.
- perforación, A. d. (1998). *Informe final de perforación DG-18A*.
- perforación, A. d. (1998). *Informe final de perforación DG-18B*.
- perforación, A. d. (2007). *Informe final de perforación DG-18C*.
- perforación, A. d. (2015). *Informe final perforación DG-18D*.
- PSB. (2011, Enero 01). *PSB*. Retrieved November 12, 2018, from PSB:
<http://www.psb.com.sv/?cat=1013&title=El%20Proceso%20de%20Perforaci%F3n&lang=e>
s
- Quezada, A., & De Henriquez, E. (2002). *Estudio geológico*.

ANEXOS

Anexo 1. Curva de avance final de perforación pozo DG-18D



Anexo 2. Cálculo del volumen total de fluidos inyectados durante la perforación del pozo DG18-D desde que iniciaron pérdidas totales a 1142 m de profundidad MD.

Fluidos utilizados en la perforación

METRO	AVANCE	EMBOLADAS		CAUDAL	PSB	VOLUMEN INYECTADO (GAL)
Metro	(m/h)	Bomba 1	Bomba 2	Total (GPM)	PSB	
1207	485.9	2720	1973	22960	1174	224586
1375	3702.3	11773		105011	9959	745676
1552	3170.4	11692	11784	115090	4723	943686
1600			3147	30400	1301	207976
				Total Galones		2121924

Volumen total de fluidos utilizados durante la construcción del pozo DG18-D

FLUIDOS DE PERFORACIÓN EN DG-18D		
Item	Material	Volumen m3
1	Agua	15400.07562
2	Recortes	34.82530832
3	Baches Viscosos	482.1052632
	Total	15917.01

Volumen de fluidos de perforación descargados del pozo DG18-D

DESCARGAS DG-18D		
N	Fecha	Volumen m3
1	19-mar	206.24
2	16-abr	484.84
3	22 de abril	214.14
4	13 de mayo	1004.01
5	18-jun	1019.31
6	01-feb-17	694.4
	Total	3622.94