

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

DIPLOMADO EN GEOTERMIA PARA AMÉRICA LATINA
EDICIÓN 2017



REHABILITACIÓN DE LOS POZOS PRODUCTORES
DEL CAMPO GEOTÉRMICO SOL DE MAÑANA
EN POTOSÍ – BOLIVIA

PRESENTAN: Pamela Verduguéz
Rudy Roberto Mamani Quisbert

ASESOR: Juan Antonio Polío Hernández
CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2017

INDICE

CONTENIDO.....	Pág.
1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
4. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.....	2
5. OBJETIVOS.....	3
5.1. Objetivo general.....	3
5.2. Objetivos específicos.....	3
6. MARCO TEÓRICO	4
6.1. Rehabilitación de pozos.....	4
6.2. Problemas frecuentes en los pozos.....	4
6.3. Problemas mecánicos en los pozos	4
6.4. Tareas para rehabilitaciones de pozos.....	5
6.6. Herramientas en los trabajos de rehabilitación.....	5
6.7. Operación de recuperación de herramienta (Pesca).....	6
6.8. Trabajos de pesca	6
6.9. Tipos de pesca	7
6.10. Causas de aprisionamiento de la tubería	7
6.11. Instrumentos de pesca	8
6.12. Bloques de impresión	9
6.13. Herramientas usadas para pesca de basura o chatarra.....	9
6.14. Herramientas de captura	9
6.15. Cabezal de producción	11
6.15.1. Componentes del cabezal	11
6.15.2. Sustitución de un cabezal de pozo	12
7. METOLOGÍA	12
8. ANÁLISIS DE DATOS	12
9. RESULTADOS	18
9.1. Programa de rehabilitación del pozo SM-1.....	19
9.1.1. Datos generales.....	20
9.1.2. Perfil del Pozo SM-1	20
9.1.3. Operaciones	22
9.2. Programa de rehabilitación del pozo SM-2.....	26

9.2.1.	Datos Generales.....	26
9.2.2.	Perfil del pozo SM-2	27
9.2.3.	Operaciones	28
9.3.	Programa de rehabilitación del pozo SM-3	32
9.3.1.	Datos generales.....	33
9.3.2.	Perfil del Pozo SM-3	33
9.3.3.	Operaciones	34
9.4.	Programa de rehabilitación del pozo SM-5	37
9.4.1.	Datos generales.....	38
9.4.2.	Perfil del Pozo SM-5	39
9.4.3.	Operaciones	39
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
10.1.	Conclusiones	44
10.2.	Recomendaciones	44
11.	AGRADECMIENTOS	45
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	45
13.	APENDICE	46

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO.....	Pág.
Figura 1: Pozo SM-5.....	17
Figura 2: Pozo geotérmico Sol de Mañana 1	20
Figura 3: Pozo SM-1.....	21
Figura 4: Datos del cabezal instalado en el pozo SM1.....	22
Figura 5: Perfil del pozo SM1	24
Figura 6: Pozo geotérmico Sol de Mañana 2	27
Figura 7: Datos del cabezal instalado en el pozo SM2.....	28
Figura 8: Perfil del pozo SM2	30
Figura 9: Pozo geotérmico Sol de Mañana 3	33
Figura 10: Datos del cabezal instalado en el pozo SM3.....	34
Figura 11: Perfil del pozo SM3	35
Figura 12: Pozo geotérmico Sol de Mañana 5	38
Figura 13: Datos del cabezal instalado en el pozo SM5.....	40
Figura 14: Perfil del pozo SM5	41

INDICE DE TABLAS

CONTENIDO	Pág
Tabla 1: Descripción del pozo SM-1	13
Tabla 2: Descripción del pozo SM-2.....	14
Tabla 3: Descripción del pozo SM-3.....	15
Tabla 4: Descripción del pozo SM5	16
Tabla 5: Tiempo de rehabilitación pozo SM1	25
Tabla 6: Presupuesto de la rehabilitación pozo SM1	26
Tabla 7: Tiempo de rehabilitación pozo SM2	31
Tabla 8: Presupuesto de la rehabilitación pozo SM2	32
Tabla 9: Tiempo de rehabilitación pozo SM3	36
Tabla 10: Presupuesto de la rehabilitación pozo SM-3	37
Tabla 11: Tiempo de rehabilitación pozo SM5	42
Tabla 12: Presupuesto de la rehabilitación pozo SM5	43

1. RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla una descripción sistemática para la rehabilitación de los pozos productores SM1, SM2, SM3 y SM5 de Campo Sol de Mañana en Potosí – Bolivia mediante una limpieza mecánica con la sarta de perforación para remoción de materiales de incrustación o derrumbes de la formación al interior del pozo para posteriormente instalar la tubería de producción (liner) y cambio de cabezales, todo lo anterior con el pozo enfriado.

En cuanto a las características de los pozos objetos de intervención, el pozo SM-1 fue perforado en el campo Sol de Mañana entre el 8 de septiembre y el 20 de noviembre de 1988, el pozo tiene una profundidad total de 1180 m (con agujero abierto de 8 ½” en el intervalo abierto (sin liner) entre 737 y el fondo del pozo, identificándose el estrato permeable entre los 1000 a 1180 metros de profundidad.

El pozo SM2 está ubicado a 1000 m al noroeste del SM-1, fue construido entre el 19 de diciembre de 1988 y el 17 de febrero de 1989. Se perforó hasta la profundidad de 1486 m y se terminó en agujero descubierto (sin liner) desde los 608 m hasta el fondo del pozo. Durante su construcción, se identificaron dos intervalos permeables de interés: a 920 m y de 1200 a 1400 m de profundidad.

El pozo SM3 fue construido el 21 de abril de 1989 al 15 de octubre del mismo año con un periodo de suspensión del 15 de junio al 19 de septiembre, debido a las condiciones de frío extremo, se ubica a 550 m del SM-1 y a 700 m al este del SM2 con una profundidad total de 1406 m y teniendo un agujero descubierto (sin liner) desde los 765 m hasta los 1406 m.

El pozo SM5 fue perforado entre el 3 de marzo y el 30 de mayo de 1992, a 700 m al noroeste del pozo SM2, la profundidad total del pozo es de 1705 m, atravesó formaciones relativamente permeables desde los 900 m.

2. INTRODUCCIÓN

En Bolivia a mediados de la década de 1970 se hicieron estudios de prefactibilidad con el propósito de identificar el potencial del recurso geotérmico del país en el Departamento de Potosí. Durante los últimos años de la década de 1980 hasta los inicios de la década de 1990, la empresa estadounidense UNOCAL realizó la perforación de seis pozos profundos en el campo geotérmico Laguna Colorada registrando temperaturas mayores de 250 °C (SM-1, SM-2, SM-3 y SM-5 Productores; SM-4 Reinyector) y Apacheta (AP-1 Productor).

El campo geotérmico Sol de Mañana está ubicado en un área con elevación entre 4900 a 4980 m.s.n.m., se encuentra aproximadamente a 45 Km del campamento de ENDE en Laguna Colorada. A 3 km del campo Sol de Mañana se encuentra la montaña cerro Apacheta a una elevación de 5440 m.s.n.m. (campo Apacheta), en la actualidad el campo Apacheta está siendo explotado por la sociedad Industrial Tierra S.A. (WestJec, 2008).

La morfología de Sol de Mañana es típicamente volcánica y consiste en depresiones morfológicas que fueron rellenadas por un fenómeno de erosión glacial. Hay una intercalación de capas de ignimbrita y lavas andesíticas en toda la zona.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proyecto geotérmico Sol de mañana tiene perforados 5 pozos de los cuales 4 son productores y un reinyector que durante las últimas pruebas de producción se detectó obstrucciones en el interior en el interior de los pozos productores y en los cabezales, imposibilitando su adecuada operación tanto en el desarrollo una planta piloto tipo Boca Pozo como la planta 100MWe, cuya producción de los referidos pozos está incluida.

4. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

En la concesión del campo geotérmico Sol de Mañana se tiene como objetivo principal la instalación de una planta de 100 MWe, para lo cual se requiere una determinada cantidad de pozos entre productores y re-inyectores, de los cuales existen cinco perforados en los años 1980 y 1990 que, por sus condiciones mecánicas actuales, requieren una rehabilitación que garantice su operación segura y continua.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Elaborar una propuesta de procedimiento para rehabilitación de los pozos productores SM1, SM2, SM3 y SM5 del Campo Sol de Mañana, mediante una limpieza mecánica con sarta de perforación con las operaciones de enfriamiento, remoción de materiales de incrustación o derrumbes de la formación al interior del pozo y realizar el programa de instalación de liner y cambio de cabezales

5.2. Objetivos específicos

Para la ejecución de los trabajos de Rehabilitación es necesario efectuar las siguientes actividades y/o trabajos a los pozos productores SM1, SM2, SM3 y SM5:

- Realizar la recopilación/análisis de información existente de cada pozo: informes realizados durante la perforación y pruebas de producción de los pozos productores.
- Identificar el tipo de obstrucción de cada uno de los pozos.
- Elaborar el programa de intervención de cada uno de los pozos.
- Procedimiento de bajado de liner a cada uno de los pozos.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Rehabilitación de pozos

La rehabilitación es todo trabajo que se realiza en un pozo con la finalidad de restaurarlo o terminarlo e involucra resolver problemas. Las razones por las cuales se propone la rehabilitación de un pozo son muy variadas. Estas razones involucran aspectos operacionales que justifican la utilización del pozo, por ende, inversiones y/o costos requeridos. La rehabilitación es una tarea de proporciones importantes más allá de las tareas rutinarias de mantenimiento. Puede exigir la utilización de un equipo o taladro de perforación/Intervención de pozos.

6.2. Problemas frecuentes en los pozos

Baja Permeabilidad de la formación: Esta puede ser una característica regional o local (pozo o área). Cuando se ha determinado que una de las causas de baja productividad es la baja permeabilidad, debe ser considerado siempre junto a otras posibles causas de baja productividad.

Baja Presión del reservorio: El nivel de presión del reservorio está estrechamente relacionado con los mecanismos de producción presentes en el mismo. Por ello, se debe tener un buen control de las mediciones de presión que permitan definir a tiempo el comportamiento de ésta, lo cual ayudaría a definir los mecanismos dominantes de la producción.

Daño de la formación: El daño de la formación se puede describir como una disminución de la productividad o inyectividad de un pozo, por efectos de restricciones en la vecindad del mismo, en las perforaciones, en el reservorio o en la comunicación de las fracturas con el pozo.

Taponamiento del pozo: Cuando existe una disminución en la productividad de un pozo, la primera opción es verificar el posible taponamiento de la tubería, perforaciones o vecindad del pozo.

Falla en la cementación primaria: Las fallas de la cementación entre revestidor-cemento-formación, son causadas frecuentemente por la aplicación de presiones de fractura durante trabajos de acidificación / estimulación.

Limpieza de pozos: Desde el comienzo de la etapa de perforación hasta la fecha en que cesa, cada pozo requiere de limpieza, según los síntomas y dificultades mecánicas que presentan sus instalaciones hoyo abajo y/o el mismo estrato productor. (Essenfeld, 2005)

6.3. Problemas mecánicos en los pozos

Los problemas mecánicos generalmente se originan en el pozo durante la perforación y completación del mismo, debido a las diferentes condiciones a las cuales es sometido. Entre ellos se tienen: pescados dejados durante la reparación o completación, fugas a través del revestidor, tubería de producción, empacaduras, mandriles, camisas de producción, fallas de la cementación y fallas del equipo de producción.

Durante la ejecución de un trabajo de rehabilitación en un pozo, se utilizan para el control

del mismo, los lodos que son preparados de acuerdo con las condiciones de presión del pozo. Esto ocasiona, muchas veces, al subir el peso del lodo, que se generen altos diferenciales de presión en contra de la formación, con el consiguiente daño de la misma. (Essenfeld, 2005)

6.4. Tareas para rehabilitaciones de pozos

Para realizar la rehabilitación de pozos es necesario preparar programas cronológicos de operaciones que describen la selección y ejecución apropiadas de una variedad de tareas, ajustadas a una secuencia técnica y con seguridad para evitar inconvenientes.

La rehabilitación puede ser sencilla o completa, según las condiciones y estado físico del pozo y las tareas del programa a seguir. Sin embargo, una rehabilitación sencilla puede tornarse complicado por eventos inesperados que no fueron anticipados por su baja frecuencia de ocurrencia. (Essenfeld, 2005)

6.5. Factores para la rehabilitación de pozos

Diagnóstico del equipo de producción: Antes de decidir la rehabilitación de un pozo es necesario conocer las condiciones de operación, ya que muchas veces información precisa para poder decidir la entrada o no de un taladro de intervención.

Condición Mecánica: Después de haber realizado el diagnóstico y decidir el tipo de trabajo que debe realizarse, es importante verificar el estado mecánico del pozo mediante la revisión de los trabajos anteriores en los cuales se hayan corrido herramientas de calibración del revestimiento, tales como fresa, y que se han realizado pruebas del revestimiento aumentando la presión por el anular. De igual forma, se puede planificar una verificación de fondo para determinar si existe alguna obstrucción mecánica en la tubería o en el fondo del pozo descubierto.

En el caso de que existan pozos para completar en reservorios inferiores, se debe verificar si existen pescados, tapones puente, tapones de cemento, forros ranurados, etc., que dificulten o impidan realizar el trabajo en la zona de interés.

Historial de producción: Es importante tener información sobre la completación original: Sobre la perforación del pozo bajo estudio, es importante conocer si hubo problemas de pérdidas de circulación frente a la zona productora, que hubiesen podido ocasionar daño a la formación en esta oportunidad. (Essenfeld, 2005)

6.6. Herramientas en los trabajos de rehabilitación

En los trabajos de rehabilitación de pozos frecuentemente se realizan viajes de limpieza y de pesca con la finalidad de calibrar y eliminar obstrucciones en el revestimiento o para recuperar equipos dentro del mismo. Estas operaciones son necesarias ya que se debe asegurar que se tiene un hoyo completamente limpio y bien calibrado para efectuar eficientemente y con seguridad los trabajos posteriores.

Para realizar operaciones de pesca y/o de limpieza deben utilizarse herramientas específicamente diseñadas para este fin y, además, es necesario seguir procedimientos

correctos para que las mismas sean exitosas y seguras, evitando viajes infructuosos de tubería.

En los trabajos de rehabilitación de pozos, las herramientas se pueden clasificar en dos tipos: De limpieza y calibración de hoyos, y De operaciones de pesca. (Essenfeld, 2005)

6.7. Operación de recuperación de herramienta (Pesca)

Una pesca es el conjunto de operaciones o procedimientos realizados dentro de un pozo con el objetivo de remover o recuperar materiales, herramientas o tuberías que impiden o afectan el desarrollo secuencial durante la intervención de un pozo.

Un problema de pesca puede ocurrir por varias causas, las más comunes son: fallas de algún componente del equipo superficial, subsuperficial, accesorios de trabajo (llaves, cuñas, etc.) y en algunos casos, por operaciones mal efectuadas y descuidos humanos.

Las fallas en el equipo superficial se originan por falta de mantenimiento en los dados, resortes y pernos de las cuñas que se encuentran en mal estado, falta de potencia hidráulica en las bombas que limitan la limpieza del fondo del pozo, e indicadores de peso descalibrados.

Las fallas en el equipo subsuperficial se deben a operaciones inadecuadas durante la perforación del pozo, por la mecánica del pozo y una mala limpieza del pozo, entre otros. Se originan por falta de conocimiento por parte del personal, por descuido o falta de habilidad en la ejecución de la operación.

El factor humano predomina en muchas de las causas que originan situaciones de pesca. Por esta razón se recomienda que toda herramienta introducida en el pozo deba medirse y que en la bitácora de operación se anoten todas sus características: diámetro interior, exterior, longitud y en caso de tener que utilizar alguna herramienta (llaves, marros, etc.) acondicionar el equipo sobre la mesa rotaria, para extremar precauciones. (Essenfeld, 2005)

6.8. Trabajos de pesca

Los trabajos de pesca se clasifican de acuerdo a las condiciones del agujero en: agujero descubierto, cuando no hay tubería de revestimiento en el área de los pescados; agujero revestido, cuando el pescado está dentro de la tubería de revestimiento; o a través de la tubería, cuando es necesario pescar a través de un diámetro reducido de tubería. Los tipos de pesca en agujero descubierto y en agujero entubado involucran procedimientos, técnicas y herramientas relativamente similares, pero los problemas y el peligro es diferente. (Benito, 2014)

Agujero descubierto: Cuando no hay tubería en el área donde se encuentra el pescado. Los trabajos en agujero descubierto están más relacionados a las operaciones de perforación del pozo, se llevan a cabo por lo regular con lodo, así que existe el riesgo de aprisionamiento de la tubería por la existencia de la presión diferencial entonces se debe de tomar en cuenta siempre este factor.

Agujero entubado: Cuando existe tubería de revestimiento en el área donde se encuentra el pescador. Los trabajos en agujero entubado son más relacionados con la terminación o el mantenimiento del pozo, en estos casos se utiliza la misma herramienta de perforación y la diferencia es que es más pequeña y las fuerzas son menores.

A través de la tubería: Cuando es necesario pescar a través de un diámetro reducido.

Hay muchas clases de pescados y trabajos de pesca, muchas herramientas diversas y métodos que pueden ser aplicados. Algunos de ellos pueden ser muy simples, otros son extremadamente complejos. No hay dos trabajos de pesca iguales, muchos probablemente son similares.

6.9. Tipos de pesca

La siguiente clasificación facilita la selección de herramientas entre la cantidad y variedad de herramientas con diferentes denominaciones para la pesca que son similares y tienen los mismos principios de operación. Lo esencial es contar con la herramienta apropiada para evitar demoras en el rescate y en los costos de operación.

Pesca de basura o chatarra: En la perforación de pozos, la pesca de basura o chatarra es un trabajo muy común, después de los pescados tubulares, lo constituyen cualquier objeto pequeño que puede extraviarse en el fondo del pozo, como el recobro de conos de barrenas, cuñas, pequeñas herramientas, cables de acero y piezas de metal que caen en el pozo.

Las pérdidas de piezas de metal en el pozo, incluso pequeñas, pueden ser costosas por el tiempo invertido, pero hay consideraciones que pueden ser tomadas en cuenta para evitar estos problemas. Un método preventivo es mantener todo el tiempo una cubierta sobre el pozo en la mesa rotaria o una empaquetadura tipo disco con la tubería de trabajo y el anular, para así evitar dejar caer algún equipo pequeño dentro del pozo. (Benito, 2014)

6.10. Causas de aprisionamiento de la tubería

Existen muchos factores que dan lugar al aprisionamiento de la sarta de perforación. Cuando ocurre esto lo más importante es identificar la causa y el tipo de aprisionamiento de modo que pueda utilizarse el método más efectivo para superar los siguientes problemas:

Formaciones no consolidadas: Las formaciones no consolidadas pueden desmoronarse en el interior del pozo y atrapar la sarta de perforación a medida que la barrena remueve la roca que sirve como soporte. Los esquistos, las lutitas laminadas, fracturas y las fallas también generan rocas sueltas que se desmoronan en el pozo y pueden atrapar la sarta de perforación.

Formaciones plásticas: Generalmente se presentan en zonas de composición salinas o arcillosas, pueden tener un comportamiento plástico debido a los componentes de sus materiales. Cuando son comprimidas por los estratos de sobrecarga, es posible que fluyan e ingresen en un pozo, restringiendo su calibre, deformando y atrapando la tubería.

Zonas geopresurizadas: Se caracterizan por tener presiones de formación mayores a las presiones hidrostáticas normales. En este tipo de formaciones, la densidad insuficiente del lodo permite que el pozo se vuelva inestable y colapse alrededor de la tubería.

Formaciones reactivas: Las arcillas reaccionan con el agua y absorben el agua del fluido de perforación. Con el tiempo es posible que se dilaten en el pozo. La dilatación química de las arcillas hace que se produzca un aprisionamiento o atascamiento de la sarta de perforación por la reducción del diámetro del pozo, lo que restringe el flujo de fluidos en esa sección de aprisionamiento. Para evitar la reacción de las arcillas se recomienda utilizar lodos inhibidos, lodos en base aceite o fluidos de perforación en base a polímeros.

Atrapamiento por presión diferencial: Se presenta cuando la sarta de perforación se mantiene en la pared del pozo como resultado de un sobre balance hidrostático entre la presión del pozo y la presión de poro de una formación permeable. Este problema se presenta cuando una sarta de perforación estática entra en contacto con una formación permeable y existe un revoque de filtración de gran espesor. (Benito, 2014)

El reconocimiento de este problema puede hacerse mediante las siguientes señales:

- Incremento de torque.
- Incremento de arrastre.
- Imposibilidad de mover y rotar el sondeo.

6.11. Instrumentos de pesca

El tipo de pescado a recuperar y las condiciones del fondo de pozo determinan la estrategia de pesca. A lo largo del tiempo se han desarrollado numerosas herramientas y técnicas innovadoras para recuperar del pozo tuberías y componentes del fondo.

Pero en general la mayoría de las herramientas de pesca corresponden a una de las categorías siguientes:

- Las canastas de pesca, recogen objetos pequeños o trozos de escombros que son demasiados pesados para circular fuera del pozo.
- Las herramientas de corte de tubería.
- Las herramientas de captura, estas se dividen en dos agarres externos e internos.
- Las herramientas de martilleo.
- Las herramientas de fresado que trituran la superficie superior de un objeto.

La solución a los problemas de pesca depende de algunos parámetros importantes como ser: donde se encuentre la pieza a recuperar, como llegó hasta allí, su estado, sus dimensiones y su orientación dentro del pozo. La orientación y el tamaño del pozo también son muy importantes; estos parámetros pueden limitar el tipo y el diámetro del equipo de recuperación y restringir el espacio disponible para realizar las maniobras de dicho equipo

por encima de la pieza de pesca. Un pozo de gran diámetro puede dificultar la localización de la parte superior de la pieza a recuperar.

Para diseñar un programa de pesca, el operador debe conocer el tamaño y la forma de la pieza a recuperar. La falta de datos dimensionales correctos puede hacer fracasar una operación de pesca. (Benito, 2014)

6.12. Bloques de impresión

Si el perforador no está seguro de que tipo de pieza debe recuperarse, el personal de perforación puede bajar al pozo un bloque de impresión para determinar la posición y la forma de la parte superior de la pieza a recuperar. Los bloques de impresión poseen un cuerpo de acero tubular corto cuyo extremo inferior está provisto de un bloque de material blando, generalmente un inserto de plomo.

Los bloques de impresión también pueden ser corridos con línea de acero, lo que resulta mucho más rápido que correrlos con sarta de perforación; este método posee limitaciones de peso y tamaño. (Benito, 2014)

6.13. Herramientas usadas para pesca de basura o chatarra

Cuando no se trata de tubería, el rescate presenta problemas muy diferentes. El pescado pueden ser conos de barrenas, barrenas, herramientas manuales, segmentos de cuñas, obturadores y otras partes del equipo destruido.

Los trozos más pequeños de detritos o escombros, tales como herramientas manuales, conos de barrenas o dados de llaves para tuberías, pueden ser recuperados con una canasta de pesca o con un imán de recuperación de detritos.

Canasta de pesca: Para recuperar trozos pequeños de detritos del fondo de un pozo, los pescadores utilizan a veces una canasta de pesca de tipo extractor de núcleos. Mediante la extracción lenta de un núcleo de la formación, este dispositivo recupera los detritos junto con el núcleo. Estas operaciones se emplean a menudo en formaciones blandas a semiblandas.

Imanes de recuperación: Los imanes de recuperación de detritos se utilizan para recuperar residuos ferrosos, tales como conos de barrenas, cojinetes, recortes fresados y pasadores que pueden ser difíciles de recuperar utilizando otros métodos. (Benito, 2014)

6.14. Herramientas de captura

La recuperación de tuberías, tales como tubería de perforación o lastrabarrenas, requieren un enfoque diferente. Muchas de estas operaciones comienzan con la hipótesis de que es probable que cualquier tubería en el pozo se atasque. Sin circulación de lodo alrededor de la pieza de pesca, los recortes pueden asentarse alrededor de la tubería o formación y luego obturarse, restringiendo su movimiento. Cuando una sarta de perforación se atasca, se rompe por tensión o se desenrosca, el plan en general consiste en liberar la pieza obstruida.

Las herramientas de captura que nos ayudan a recuperar el pescado se pueden clasificar en dos tipos:

- De agarre externo
- De agarre interno

Pescantes de agarre externo: Son aquellas herramientas que están diseñadas para sujetar a la herramienta en pesca por la parte exterior, antes de utilizar esta herramienta es necesario analizar las características, causas, tamaño y la forma de la parte superior o boca de pez.

Pescante de cuñas: Es la principal herramienta de agarre exterior y es probablemente la más común de todas las herramientas de pesca. El pescante de cuñas se usa para engranar externamente, empacar y jalar el pescado. Están diseñados con una ranura helicoidal en el tazón y con grapas o cuñas, siendo usados casi universalmente.

La mayoría de los pescantes de cuñas consiste en un tazón, un substituto superior, una guía, una grapa o cuña, un control, un empacador y algunos accesorios adicionales. Cada una de las grapas es girada con cuñas o con garras con lo que se asegura la firme captura.

Pescante de cuñas de agarre corto: El pescante de cuñas de agarre corto está disponible en tamaños limitados para ser usado cuando la parte expuesta del pescado es demasiado corta para ser capturado con un pescante de cuñas convencional.

Sarta de pesca con una herramienta de agarre externo: Los martillos amortiguadores permiten viajar libremente y tocar suavemente el pescado para capturarlo y golpetear amortiguadamente hacia abajo. Los “oil jar” y los intensificadores proporcionan fuertes impactos hacia arriba para liberar el pescado atascado.

Pescante de agarre interno: Básicamente están compuestos por machuelos y arpones. Son herramientas que penetran en el interior del pescado y que cuentan con un mecanismo o diseño de agarre interior. Entre las variantes de los dispositivos de agarre interior se encuentran las terrajas de pesca, las terrajas cónicas (machos cónicos) y los arpones de pesca.

Tarrajá de pesca: La tarrajá de pesca se utiliza con piezas de pesca que se desenroscan de la sarta de tuberías. Como consecuencia de esta situación, una unión hembra de la tubería queda mirando hacia arriba de modo que puede ser enganchado por la tarrajá.

Macho cónico: Es un dispositivo de agarre interno de los tubulares que poseen un diámetro interno restringido. La tarrajá cónica tiene un perfil largo y ahusado, y se utiliza para labrar roscas nuevas mientras se atornilla en la parte superior de la pieza de pesca. Se corre en el pozo hasta la parte superior de la pieza de pesca y luego se hace rotar para labrar o enganchar roscas. Se emplea una unión de seguridad, que permite desenganchar la herramienta de servicio de la pieza a recuperar en caso de que la primera se atasque.

Arpones: Los arpones se utilizan para capturar una tubería o de otro tipo de pescado tubular de la parte interior. En general, un arpón se emplea cuando un pescante de cuñas no es

adecuado. El arpón tiene un orificio interior pequeño que limita correr algunas herramientas e instrumentos a través de él para tareas de corte y en algunos casos para desenroscar. El arpón también es más difícil empacar o sellar el pescado y la sarta de trabajo.

El arpón es una herramienta versátil, se puede correr con la sarta por encima de la herramienta interior de corte o en combinación con otras herramientas. Las herramientas de molinos pueden ser corridas por debajo del arpón para que pueda desplazarse por la tubería de manera que el arpón pueda entrar y capturar.

Herramientas de molienda

Fresas o molinos cónicos: Las fresas se encuentran disponibles en una amplia gama de configuraciones para ser utilizadas en varias aplicaciones. A menudo se utilizan con el fin de preparar la parte superior de la pieza de pesca para que se adapte a una herramienta de pesca, pero también para triturar collares flotadores, tapones puentes y retenedores.

Los detritos producidos mediante la operación de fresado se levantan luego con imanes o canastas de pesca o se circulan fuera del pozo.

Molinos y zapatas: Los molinos y las zapatas dentadas se encuentran entre las herramientas de pesca más comunes. Antes de la invención del carburo de tungsteno, estos eran hechos con cuchillas o dientes de carburo. La superficie exterior era endurecida para cortar, mientras que el interior metálico estaba todavía en un estado semi-recocido y era más flexible. Esto contribuía a evitar la rotura de cuchillas o dientes. El desarrollo del carburo de tungsteno acondiciono herramientas para cortar y moler, siendo un gran avance en la capacidad de estas herramientas. (Benito, 2014)

6.15. Cabezal de producción

El cabezal es el punto final donde las sargas concéntricas de revestimientos y tuberías de producción llegan a la superficie. Esa colección de válvulas, carretes y elementos empacadores se conoce como el cabezal.

La función es de controlar y dirigir la entrada y salida de fluidos y gases, bajo las condiciones de presión de las distintas sargas de tubería, principalmente con el uso de las válvulas y reductores. Además, proporciona salidas para el retorno de fluidos que ascienden por el espacio anular. Facilitar la suspensión y sellar la siguiente sarga de revestimiento; y los espacios anulares entre las tuberías. (Mendoza, 2015)

6.15.1. Componentes del cabezal

Cabeza primaria del revestimiento. (Casing heads): Sirve como conexión intermedia entre el revestimiento conductor o revestimiento superficial y el equipo de control de pozo o con la sarga siguiente y/o la subsecuente sección (casing spool or Tubing spool). Las funciones básicas del casing head son soportar la sarga de revestimiento, conectar o adaptar el equipo de control de pozo aislando el hueco de la atmósfera y permitir el acceso al hueco para controlar la presión o el retorno de fluidos durante las operaciones de perforación.

Protector de prueba. (Test protector): Posee doble función de acuerdo con el diseño del colgador seleccionado: Como Packoff primario para sellar el anular entre el tazón de casing head y la sarta de revestimiento, Como protector de prueba cuando el colgador posee mecanismo de sello y su función es aislar el área de carga de las cuñas que soportan la sarta evitando una sobrepresión hidráulica.

Sellos de aislamiento. (isolated seals): Bajo este término se incluye cualquier tipo de mecanismo que selle el diámetro externo del final de la sarta de revestimiento contra el tazón inferior que por diseño posee el Tubing head o el casing spool que se instala enseguida y constituye la siguiente sección.

Sellos de conexión. (ring gasket): También conocidos como anillos de compresión, suministran un sello hermético entre dos secciones o elementos ensamblados.

Bridas adaptadoras. (adapter flange or Tubing bonnets): Permiten conectar la última sección del cabezal al ensamble de válvulas que se conoce como árbol de navidad. (Mendoza, 2015)

6.15.2. Sustitución de un cabezal de pozo

La sustitución del cabezal de un pozo generalmente se requiere cuando este ha cumplido su vida útil (mantenimiento preventivo) o presentan deficiencias no subsanables (mantenimiento correctivo). Dicha sustitución deberá estar enmarcada en parámetros de una selección técnica. (Mendoza, 2015)

7. METODOLOGÍA

Para la presente propuesta se recopiló y analizó la información realizados en la perforación y pruebas de producción efectuadas por CFE, WestJec entre otros para determinar las condiciones a las cuales se encuentran los pozos productores del campo geotérmico Sol de Mañana.

Entre las propuestas de rehabilitación se planteará un procedimiento de limpieza mecánica de los pozos productores con el uso de la sarta de perforación para ir removiendo los materiales de incrustación de la zona de obstrucción la cual se encuentra con una terminación a hueco abierto.

Desarrollar el programa de instalación del liner posterior a la limpieza mecánica en los cuatro pozos productores para preservar la integridad de los mismos durante la producción.

Desarrollar el programa de instalación del liner posterior a la limpieza mecánica en los cuatro pozos productores para cuidar la integridad de los pozos e iniciar la producción de forma continua y segura en el proyecto piloto y posterior planta de al menos 100 MWe.

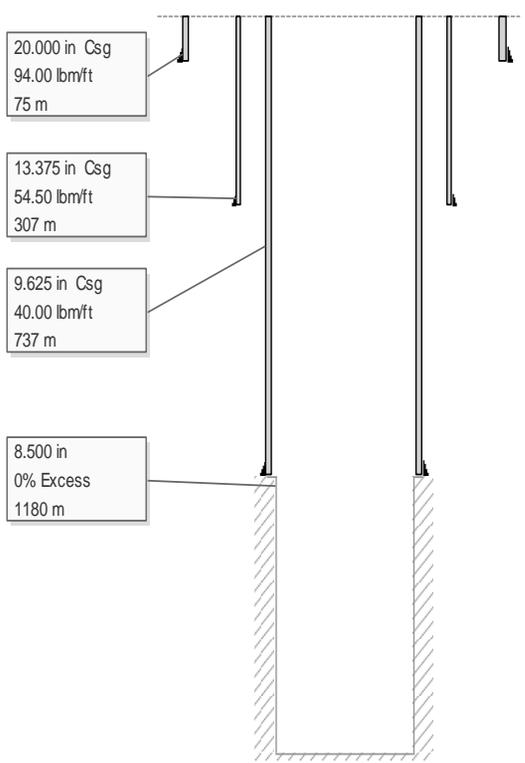
8. ANÁLISIS DE DATOS

Se realizará el análisis de los informes de perforación y de las diferentes pruebas de producción a los pozos SM-1, SM-2, SM-3 y SM-5.

8.1. Pozo SM-1

El pozo SM1 fue el primer pozo geotérmico a ser perforado y se describe en la siguiente tabla 1:

Tabla 1: Descripción del pozo SM-1

SM1				
DISEÑO DE POZO	GEOLOGÍA	PROBLEMAS DURANTE LA PERFORACIÓN	PRODUCCIÓN DE LOS POZOS	DATOS
 <p>20.000 in Csg 94.00 lbm/ft 75 m</p> <p>13.375 in Csg 54.50 lbm/ft 307 m</p> <p>9.625 in Csg 40.00 lbm/ft 737 m</p> <p>8.500 in 0% Excess 1180 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 760-770m Ignimbrita Gris a dacítica alteradas en un mosaico de cuarzo y de biotita. ▪ 770-920m Ignimbrita gris blanquesina y verde dacíticas frecuentemente alteradas y plagioclasas. ▪ 920-977m ignimbritas gris oscura composición Dacítica con la matriz de cuarzo microcristalino ▪ 977m - fondo se sacaron dos testigos : (1029 m-1030m y 1178.5-1180 m) ignimbritas dacíticas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 762m se cambia a agua Existe una absorción de 6-9 m³/h ▪ Existe una absorción de 20m³/h ▪ Una desviación de 0° 45 ▪ Pérdida total de circulación a los 977 m. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CFE Reconocimiento de la tubería de 9 5/8" con globo calibrador de 181 mm (7 5/8"), obstrucción en 984m. se baja barra de peso 1 1/4", y la obstrucción es vencida a 1010 m y se verifico el fondo del pozo. ▪ WEST JEC De las pruebas de PTS en condiciones estáticas se ha identificado una profundidad de 980 m. Registro dinámico a diferentes diámetros se detectó perdida de tensión a los 980m 	<p>Nivel piezométrico a los 850 m, presenta una capa de gases por sobre esta profundidad El pozo a la profundidad de 980 m tiene una temperatura de 247.15 °C y una presión de 37.4 bar_a.</p>

8.2. Pozo SM-2

El pozo SM-2 presenta la característica que esta atraviesa dos estratos permeables como se describe la tabla 2:

Tabla 2: Descripción del pozo SM-2

SM2				
DISEÑO DE POZO	GEOLOGÍA	PROBLEMAS DURANTE LA PERFORACIÓN	PRODUCCIÓN DE LOS POZOS	DATOS
<p>20.000 in Csg 94.00 lbm/ft 75 m</p> <p>13.375 in Csg 54.50 lbm/ft 311 m</p> <p>9.625 in Csg 40.00 lbm/ft 617 m</p> <p>8.500 in 0% Excess 1486 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 617-896: lavas andesíticas, porfíricas contiene fenocristales y plagioclasa menor cantidad de biotita, anfíbol y escaso cuarzo. ▪ 655-865m: rocas extensamente silicificadas, los cristales de plagioclasa están sustituidos por calcita, illita/sericita, también se encuentra pirita y anhidrita. ▪ 896-904 m: Sin recuperación de recortes. ▪ 904-921: Lavas andesíticas análogas, aumento de la epidota hidrotermal. ▪ 976-1485: ninguna recuperación por pérdida de circulación total ▪ 1485-1485.45 m: Ignimbrita dacítica verde-gris contiene cuarzo, plagioclasa y biotita en una matriz vítrea recristalizada en cuarzo, epidota y sericitizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pérdida de circulación Prof. 43 m ▪ Pérdida de circulación Prof. 216 m. ▪ Inyección de lodo viscoso ▪ Presencia de H₂S ▪ Pérdida de circulación Prof. 238,7 m. ▪ Inyección de lodo y material obturante ▪ Pérdida de circulación Prof. 216 m. ▪ Presencia de H₂S ▪ Pérdida de circulación – Prof. 238,7 m. ▪ Inyección de lodo material obturante. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CFE Reconocimiento de la tubería de 9 5/8" con globo calibrador de 177.8 mm (7"), obstrucción en 1257m. ▪ Calibración con barra de peso 31.75mm (1 1/4"), obstrucción a 1265 m. Parcialmente obstruido. ▪ WEST JEC En base a las gráficas realizadas en las pruebas PTS se puede identificar que se llegó hasta 1260 m. 	<p>Nivel piezométrico está a los 1000 m.</p>

8.3. Pozo SM-3

El pozo SM3 fue el tercer pozo geotérmico a ser perforado y se describe en la tabla 3:

Tabla 3: Descripción del pozo SM-3

SM3				
DISEÑO DE POZO	GEOLOGÍA	PROBLEMAS DURANTE LA PERFORACIÓN	PRODUCCIÓN DE LOS POZOS	DATOS
<p>20.000 in Csg 94.00 lbm/ft 62 m</p> <p>13.375 in Csg 68.00 lbm/ft 304 m</p> <p>9.625 in Csg 40.00 lbm/ft 736 m</p> <p>8.500 in 0% Excess 1046 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0 – 370m Ignimbritas" ▪ 370 a 970m Andesitas" ▪ 970 - 1406m sin recuperación de muestras por pérdidas totales de circulación. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensanchamiento a 24" hasta los 63m. ▪ Pérdida total de circulación y problemas de pesca. ▪ Bajo y cementó cañería de 20" en 58m. ▪ Pérdida total de circulación y problemas de pesca. ▪ Bajo y cementó cañería de 13 3/8" en 298m. ▪ Resistencia y arrastre en maniobras. ▪ Vaporización. ▪ Espera de material (cañería) a 736m. ▪ Bajar y cementar cañería 9 5/8". ▪ Pérdida total de circulación. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CFE Calibración con barra de peso 31.75mm (1 1/4"), obstrucción a 1388 m. Condiciones óptimas mecánicas de producción. ▪ WEST JEC La sonda llega a la profundidad de 1385.74m 	<p>El nivel de espejo de agua se mide a aproximadamente 560m.</p> <p>Se mide una temperatura de 246.68°C y una presión de 68.2 bar_a, a una profundidad de 1385.74 m</p>

8.4. Pozo SM-5

El pozo SM5 fue el último pozo geotérmico a ser perforado y el más profundo como se describe en la tabla 4:

Tabla 4: Descripción del pozo SM5

SM5				
DISEÑO DE POZO	GEOLOGÍA	PROBLEMAS DURANTE LA PERFORACIÓN	PRODUCCIÓN DE LOS POZOS	DATOS
<p>20.000 in Csg 94.00 lbm/ft 70 m</p> <p>13.375 in Csg 54.50 lbm/ft 300 m</p> <p>9.625 in Csg 43.50 lbm/ft 900 m</p> <p>8.500 in 0% Excess 1705 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> 700 - 900m lava andesítica. Textura pilotaxítica, matriz vítrea." 900 - 1700m: No hay muestra debido a la pérdida total de circulación. Se extrajeron testigos. <p>T1 (1048-1053m): Andesita violácea. Minerales arcillosos.</p> <p>T2 (1348-1350m): Andesita gris blanquecina (epidota - Adularia). Epidota - Adularia.</p> <p>T3 (1702-1705m): Ignimbrita dacítica blanquecina (epidota - ortoclasa).</p>	<ul style="list-style-type: none"> Perdidas parciales durante la perforación a los 70 m. Perdidas parciales durante la perforación a los 298 m. Pérdidas totales y parciales durante la perforación a los 750 m. Perdidas parciales a los 886 m. Pérdidas totales a los 1702 m. 	<ul style="list-style-type: none"> CFE Calibración con barra de peso 31.75mm (1 1/4"), bajando libremente hasta 1690 de 1705m. Óptimas condiciones mecánicas de producción. WEST JEC No se le realizaron pruebas debido a la incrustación del cabezal y en el pozo. 	

En base a las tablas anteriormente descritas se puede determinar las zonas donde se presentaron las pérdidas de circulación total así también determinar donde se encuentra la obstrucción de cada pozo, para el caso del SM-1 la obstrucción se encuentra a los 980 m donde posiblemente se encuentre cable de registro que no fue retirado en su totalidad durante el reconocimiento del pozo en las pruebas de producción y se evidenció que a esa profundidad ignimbritas dacíticas lo que demuestra una estabilidad de la formación para realizar la rehabilitación.

En el pozo SM-2 se evidencia una obstrucción o caída de la formación a los 1600 m en base a las pruebas de producción realizadas siendo la profundidad total a los 1486.5 m.

En el pozo SM-3 no se presenta una obstrucción significativa como se puede evidenciar en las pruebas de producción llegando a sonda hasta los 1385.74 m y el fondo de pozo se encuentra a los 1406 m la formación a esta profundidad no se logró recuperar como se debió a las pérdidas de circulación a esta profundidad.

El pozo SM-5 en las primeras pruebas de producción no se detectó ningún derrumbe ni obstrucción pero en la última prueba realizada se pudo evidenciar que la válvula principal del pozo no funcionó adecuadamente debido a la incrustación de bicarbonato de amonio, lo que evitaba la producción de fluidos geotérmicos y por la obstrucción dentro de la tubería como se muestra en la figura 1, debido a la incrustación no se pudo realizar las pruebas de producción a este pozo.

Figura 1: Pozo SM-5



En el apéndice 1 se muestra la comparación de litología de cada pozo y los registros PTS en la condición estática, en condiciones de producción y en condición de inyección. Y determinar la zona de pérdida de agua y los puntos de alimentación y definir las características de los fluidos del yacimiento geotérmico

9. RESULTADOS

Para la rehabilitación de los pozos se utilizara una torre de perforación con las siguientes características:

Mástil

Capacidad nominal de 340 TM

Estructura

Altura del piso 8 metros, altura de trabajo bajo la mesa es de 6.50 metros.

Equipo de izaje

Capacidad del Gancho 230 Tn

10 líneas de cable de perforación de 1 ¼"

Sistema de potencia

Motores diésel de 560 HP cada uno, turbo cargado, con convertidores de torque, compound y freno de inercia incorporado.

Debe considerarse que, por efecto de la elevación geográfica del lugar, los motores diésel se verán afectador significativamente en su eficiencia. Esto no debe afectar la potencia solicitada de los Equipos de Perforación

Mesa rotaria

Mesa de abertura 37 ½", capacidad estática 340 ton.

Sistema de levantamiento

Bloque viajero

Capacidad de 320 tons.

Cabeza de inyección, 320 ton.

Bombas para lodo

3 Bombas, potencia: 1200 HP c/u.

Equipos preventores de reventones (bop)

Un (1) Preventor Anular de 13 5/8" x 3,000 psi. Completo con bridas abajo y conexion para pernos arriba.

Un (1) Preventor de compuetas, Doble RAM, Tipo Cameron, 13 5/8" x 3,000 psi, incluir la brida de 13 5/8" a instalar en tubería de 13 3/8"

Un (1) Válvula Lateral de 3", ANSI-600 RJ

Válvulas y tuberías de alta presión para línea de alivio y de control (Kill line and choke line).

Sistema de preparación, tratamiento y circulación de fluidos de perforación

Tres (3) Tanques de 100 m³ de capacidad total con circuito de alta presión con Shale Shakers Dual Tandem en cascada Swaco, Desarenador DL Mod I-210, DL Mud Cleaner y mezcladores eléctricos de 5" HP. (Solo se necesitan 2)

Una (1) Desgasificador

Una (1) Torre de enfriamiento con una capacidad de 50 l/s y una bomba centrífuga

Una (1) centrífuga para alimentación, Mission de 5" x 6 de 86 HP.

Un (1) Tanque de almacenamiento para agua 75 m³ en total.

Equipo de pesca

Pescador "Overshot" tipo Gotco o similar.

Con cuñas para los varios diámetros de herramienta a utilizar. Estos deben cubrir el diámetro del cuerpo y el diámetro de la caja de conexión (tool joint) para la tubería de perforación. Para las barras de peso (drill collar) deben cubrir el diámetro exterior del elemento.

Arpones para pesca al interior del pozo para diámetros de 5"

Equipos de aire

Dos compresores 600-900 SCF c/u, 350 psi, Un booster capaz de manejar el flujo a una presión de 1000-1200 psi y todos los equipos y accesorios necesarios para este Servicio equipo de control de parámetros de perforación.

Consola del perforador con indicadores digitales para control de Peso de sarta, peso sobre barrena, RPM, rotary torque, presión de bombas, emboladas por min., etc.

Graficadores de 6 plumas (Drilling Recorders) con cartas de 6 plumas x 24 hr, graficador circular (esto creo que es obsoleto), los equipos ahora tienen registro digital.

Sarta de perforación

Top Drive de 320 Tn

Drill Pipe 5" – 19.5 lb/pie – G105 Premium

Drill Collars: 6 1/4" X 2 13/16" tipo espiral NC-50

9.1. Programa de rehabilitación del pozo SM-1

El pozo SM-1 fue perforado en el campo Sol de Mañana entre el 8 de septiembre y el 20 de noviembre de 1988. Como parte del Proyecto de Exploración Geotérmica de dicha zona realizado en esa época para evaluar el potencial del Campo. Tiene una profundidad total

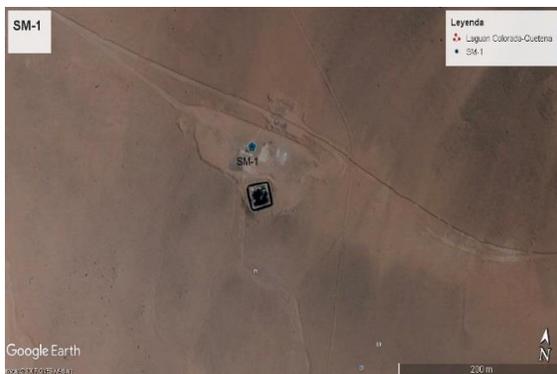
de 1180 m (con agujero abierto de 8 ½” en el intervalo entre 737 y el fondo del pozo. El principal intervalo permeable identificado en este pozo es de 1000 a 1180 m de profundidad.

La intervención del pozo SM-1 (de acuerdo al estado actual del pozo mencionado en la Sección 8 del presente documento) comprende operaciones para enfriamiento del pozo, remoción de materiales de incrustación al interior del mismo y/o caída de materiales de pared del pozo, a través de un proceso de limpieza mecánica con el uso de la sarta de perforación, con el objetivo de remover/desalojar dichos materiales de la zona de obstrucción.

9.1.1. Datos generales

Latitud: 7, 519,440.66 N
Longitud: 629,041.84 E
Elevación: 4858.84 m.s.n.m.
Profundidad total: 1180 m

Figura 2: Pozo geotérmico Sol de Mañana 1



9.1.2. Perfil del Pozo SM-1

En la figura 3 se describirá los tipos de cañerías, las profundidades de asentamiento del pozo SM-2:

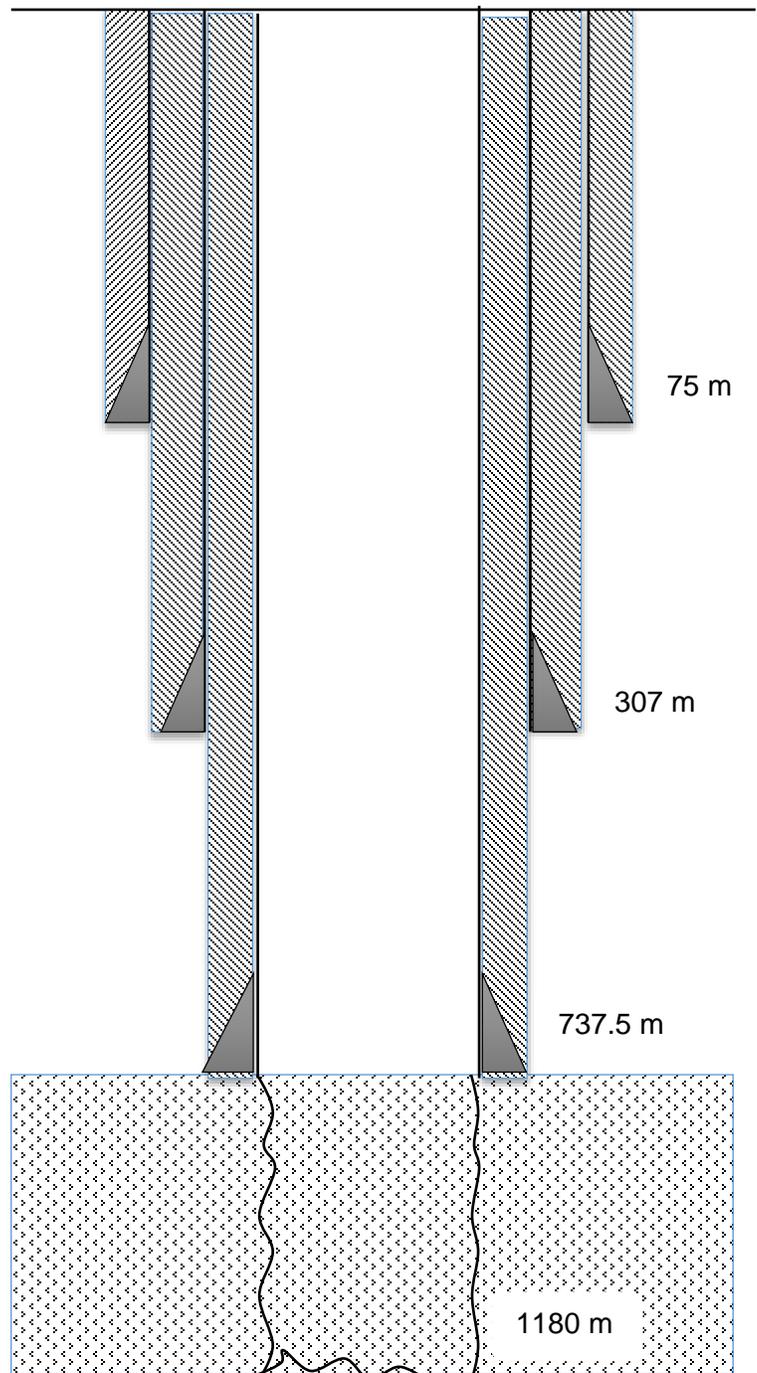
Figura 3: Pozo SM-1

PRIMERA FASE (Φ agujero 26")
Cañería Φ 20", 94 lb/ft, K-55
Prof. Zapata = 69,3 m, con 1° de desviacion.

SEGUNDA FASE (Φ agujero 17 1/2")
Cañería Φ 13 3/8", 54,5 lb/ft, K-55
Prof. Zapata = 303 m.

TERCERA FASE (Φ agujero 12 1/4")
Cañería Φ 9 5/8", 40 lb/ft, K-55
Prof. Zapata = 737.5 m

CUARTA FASE (Φ agujero 8 1/2")
Existe una absorción de 6-9 m³/h.
Existe una absorción de 20m³/h
Una desviación de 0° 45'
Pérdida total de circulación a los 977 metros.



9.1.3. Operaciones

Movilización y montaje del equipo

Movilización de los equipos de perforación hacia la plataforma del SM-1 donde se efectuará el montaje del equipo en el contrapozo.

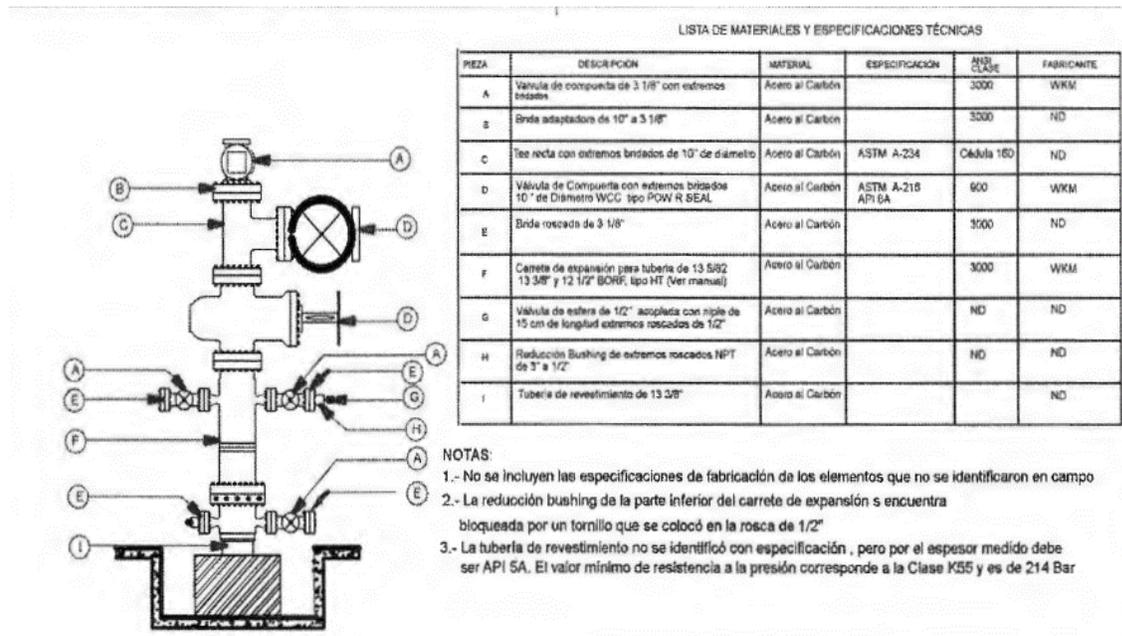
Se instalará el cabezal de intervención sobre una Tee de 10" al interior del contrapozo: carrete adaptador, preventor doble RAM, Tipo Cameron, 13 5/8" x 3,000 psi, incluir la brida de 13 5/8" a instalar en tubería de 13 3/8". Para la ejecución de las pruebas de operación de los equipos de Intervención mediante un test predefinido previo a las operaciones de rehabilitación del pozo, posterior se dará la orden de proceder.

Operaciones de limpieza mecánica

A continuación, se presenta un programa secuencial de todas las operaciones previstas a realizar durante los trabajos de rehabilitación del pozo:

- Operación de enfriamiento o matado de pozo verificando el estado de las válvulas con las características mostradas en la figura 4 en caso de ser necesario hacer el cambio, teniendo en cuenta que la altura del nivel pizométrico está a los 850 metros y por arriba a esta profundidad se encuentra una columna de gas.

Figura 4: Datos del cabezal instalado en el pozo SM1



- Armado de la sarta para reconocimiento y rimado al interior del pozo con 1081.7 m (87 piezas) se tomará en cuenta 90 piezas por eventualidades y 10 Drill Collars: 6 1/4" X 2 13/16" tipo espiral NC-50

- La operación de rimado consistirá en repasar con rotación e inyección de agua como fluido desde el cabezal de pozo hasta llegar a la profundidad de la zapata de 9 5/8 (737 m.) De encontrarse en presencia de incrustación al interior de la tubería de revestimiento de acuerdo al retorno del fluido que se tenga durante las operaciones de rimado, se utilizara agua y píldoras viscosas como fluido de perforación.
- Circular a la altura de la zapata para el enfriamiento/ limpieza del pozo hasta llenar pozo.
- Descender herramienta con barrena de 6" en caso de no lograr descender a fondo de pozo (altura critica los 984 m) se bajará arpón para recuperar el cable restante que podría existir en fondo de pozo, en el caso que no fuera exitoso se bajara fresador para liberar la obstrucción.
- En el caso que se presenten pérdidas de circulación de gran magnitud o totales durante el reconocimiento se utilizara píldoras viscosas (preparadas con material viscosificante) para mejorar la limpieza / arrastre de los recortes de material de incrustación, se recupera herramienta hasta superficie.
- Finalizada la operación de limpieza / reconocimiento al interior del pozo (1180 m) circular lo suficiente para la limpieza del fondo del agujero (2 ciclos aproximadamente) observando si se detecta en recortes en la temblorina para iniciar otro ciclo.
- Ejecución de circulación para la limpieza con uso de fluido aireado (agua/aire) para saca a superficie el material de incrustación removido durante la limpieza mecánica, el tiempo necesario para obtener retorno y salida de material, recuperar herramienta a superficie.
- Recuperación de herramienta a superficie.

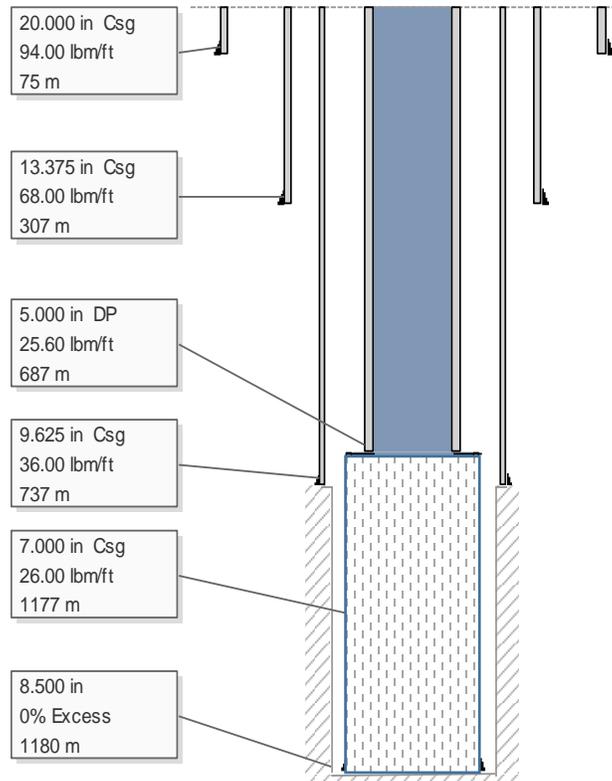
Descenso de liner

Se realizará la corrida y anclaje de la tubería ciega y ranurada del liner de 7" k-55 de 26 lb/ft con la zapata guía de 7" k-55 STD buttress, se conectará el colgador "Liner Hanger" de 7" k-55, seguidamente se conectará con el Setting tool a la tubería de perforación de 5". La conexión y corridad del liner liso / Ranurado serán efectuadas bajo la dirección de una compañía de servicios, que suministrara los equipos y operador necesario para efectuar la conexión e instalación de la tubería de 7".

Se baja la sarta con tubería de perforación TP de 5" con una longitud de 1087 metros (90 tiros).

Se baja tubería lisa de 7" de 50 metros (4 tiros) y tubería ranurada de 7" 440 metros (36 tiros) y Drill Pipe 5" – 19.5 lb/pie – G105 Premium. (Para reconocimiento al interior del liner de 7") con 500 m (52 piezas) como se muestra en la siguiente figura 5:

Figura 5: Perfil del pozo SM1



Se realiza el descenso de la tubería ciega y ranurada de 7" y anclada a a los 687 m (donde se aloja el Liner Hanger).

Se recupera la sarta hasta superficie.

Todas las operaciones anteriores bajo la dirección del operador de una compañía de servicios (suministrante del colgador).

Se realizará el reconocimiento del pozo con nueva sarta (combinada de tubería de perforación de 5" / 3 1/2 de diámetro, hasta alcanzar el fondo del liner ranurado de 7" instalado.

Realizar circulación al fondo inyectando fluido durante dos ciclos de circulación, con el objetivo de garantizar la remoción de fragmentos de formación arrastrados al interior del liner durante el descenso del mismo.

Recuperación de sarta a superficie con la desconexión total de la misma.

Servicios de aire

Se ha previsto el uso del Servicio de Aire durante las Operaciones de intervención, para mejorar el proceso de limpieza y remoción de materiales de incrustación al interior del pozo,

durante el proceso de limpieza mecánica del pozo, durante las operaciones al interior de agujero de 8 ½”.

La descarga de fluidos de la línea de Retorno será efectuada al interior de un Tanque del Circuito de lodos del Equipo. De existir fugas o derrames de fluidos durante las operaciones, el uso del fluido aireado será limitado o suspendido.

Operaciones finales

Desmontaje del arreglo de preventores e instalaciones superficiales utilizadas en el cabezal para la intervención, montaje del arreglo del cabezal definitivo compuesto por: la válvula maestra de 10”, ANSI 600, con un carrete adaptador de 13 5/8 * 11” API-2000, una brida con de 13 5/8 API-2000 para tubería de revestimiento de 13 3/8 y 2 válvulas laterales de 3” ANSI 600 RJ.

Durante la maniobra de desmontaje del cabezal de intervención e instalación del nuevo cabezal se mantendrá la inyección continua al interior del pozo.

Cronograma de intervención

Se presenta a continuación secuencia de Operaciones y estimado de tiempo como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5: Tiempo de rehabilitación pozo SM1

Descripción de Actividad	Duración (días)	Duración Acumulada (días)
Movilización de todos los componentes del equipo	7	7
Montaje de Equipos y accesorios	7	14
Pruebas de operación de los equipos	1	15
Reconocimiento/limpieza al interior de la TR de 9 5/8” hasta fondo de pozo	1	16
Reconocimiento/limpieza al interior del agujero de 8 ½” (fondo de pozo)	2	18
Operación de pesca	2- 3	21
Instalación del liner	1	22
Pruebas/Registros de Pozo – quebrado de sarta e instalación de cabezal.	2-3	25

Costos de los materiales

En la tabla 6 se determina los costos de los materiales a ser utilizados en la rehabilitación del pozo descrito anteriormente:

Tabla 6: Presupuesto de la rehabilitación pozo SM1

Materiales	Unidad	Cant.	Costo unitario	Costo total
Tubería de Rev. 7", K-55, 26 lb/pie, sin costura, Buttress.	m	435	\$b 115.00	\$b 50,025.00
Válvula Maestra de 10", ANSI 900 – RJ.	C/U	1	\$b 50,000.00	\$b 50,000.00
Carrete adaptador (Expansión Spool), 13 5/8" x 11" D.I., API-3000, con dos salidas laterales de 3", ANSI-900 RJ	C/U	1	\$b 12,500.00	\$b 12,500.00
Válvula Lateral de 3", ANSI-900 RJ	C/U	2	\$b 7,000.00	\$b 14,000.00
Brida Superior 3", ANSI-900, Slip-On.	C/U	1	\$b 4,500.00	\$b 4,500.00
Brida 3" – ANSI 900 RJ, Slip-On	C/U	1	\$b 125.00	\$b 125.00
Empaque Metálico, AISI 309, Tipo R-31 (O´ring)	C/U	1	\$b 250.00	\$ 250.00
Empaque Metálico, AISI 309, Tipo R-53 (O´ring)	C/U	1	\$b380.00	\$b 380.00
Costo total				\$b 136,780.00

9.2. Programa de rehabilitación del pozo SM-2

El pozo SM2 está ubicado a 1000 m al NO del SM-1, fue construido entre el 19 de diciembre de 1988 y el 17 de febrero de 1989. Se perforó hasta la profundidad de 1486 m y se terminó en agujero descubierto desde los 608 m hasta el fondo del pozo. Durante su construcción, se identificaron dos intervalos permeables de interés: a 920 m y de 1200 a 1400 m de profundidad. Las condiciones termodinámicas estáticas del pozo al término de su construcción fueron de 55 bares y 250°C a la profundidad media de los intervalos permeables. La obstrucción del pozo se detectó a los 1260 m. localizándose en la cuarta etapa (8 ½) que se encuentra a agujero descubierto.

La intervención del pozo SM2 comprende operaciones para enfriamiento del pozo, remoción de materiales de incrustación al interior del pozo, a través de un proceso de limpieza mecánica con el uso de la sarta de perforación. Limpiando y/o removiendo materiales de incrustación de la zona de obstrucción.

9.2.1. Datos Generales

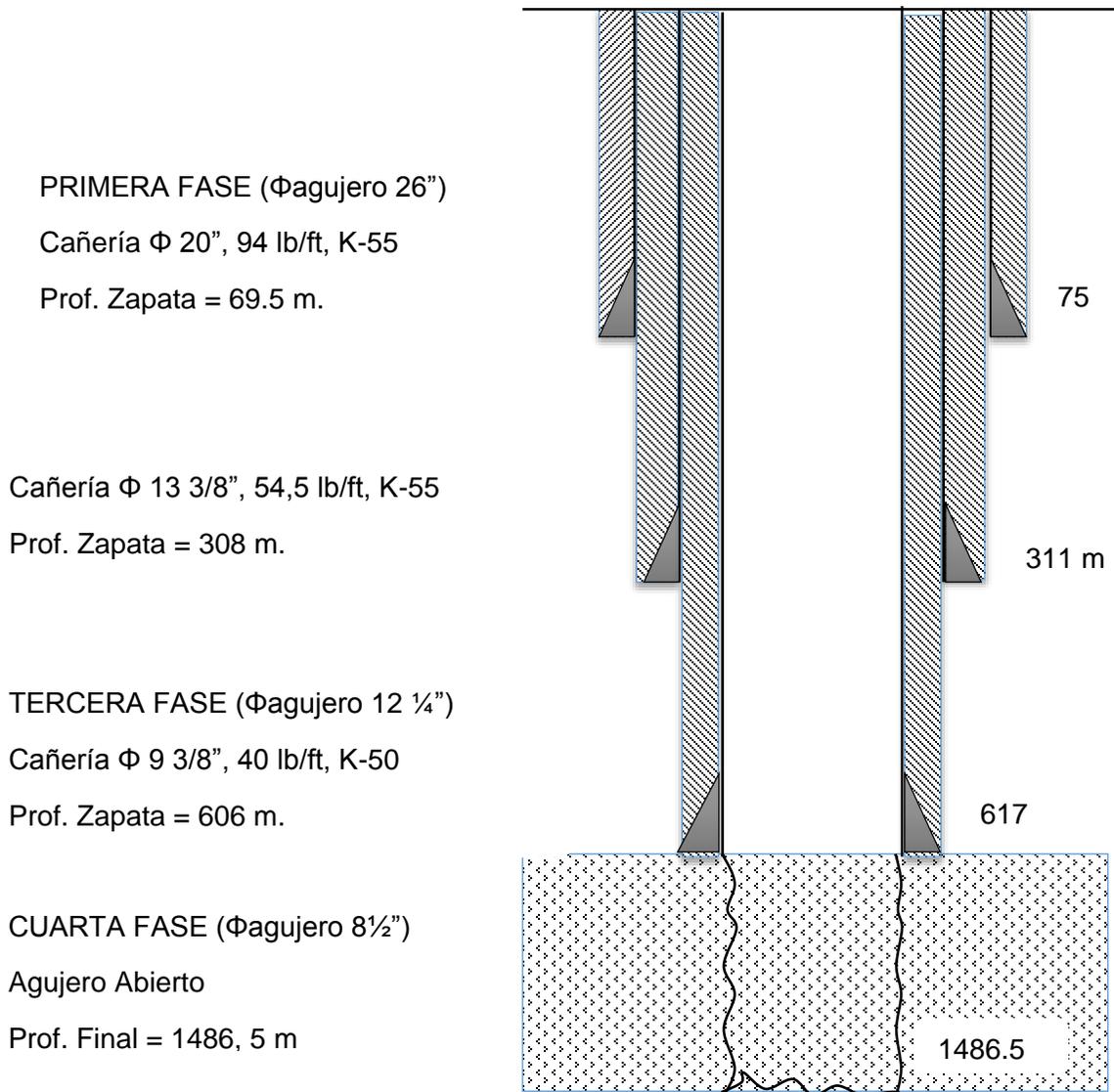
Latitud: 7, 520,042.18 N
 Longitud: 627,232.74 E

Elevación: 4,905.57 m.s.n.m.
 Profundidad total: 1,486 m

Figura 6: Pozo geotérmico Sol de Mañana 2



9.2.2. Perfil del pozo SM-2



9.2.3. Operaciones

Movilización y montaje del equipo

Movilización de los equipos de perforación hacia la plataforma del SM2 donde se efectuará en el contrapozo.

Uso de los agujeros de servicios existentes (rata-ratón).

Se instalará el cabezal de intervención sobre una Tee de 10" al interior del contrapozo: carrete adaptador, preventor doble RAM, Tipo Cameron, 13 5/8" x 3,000 psi, incluir la brida de 13 5/8" a instalar en tubería de 13 3/8".

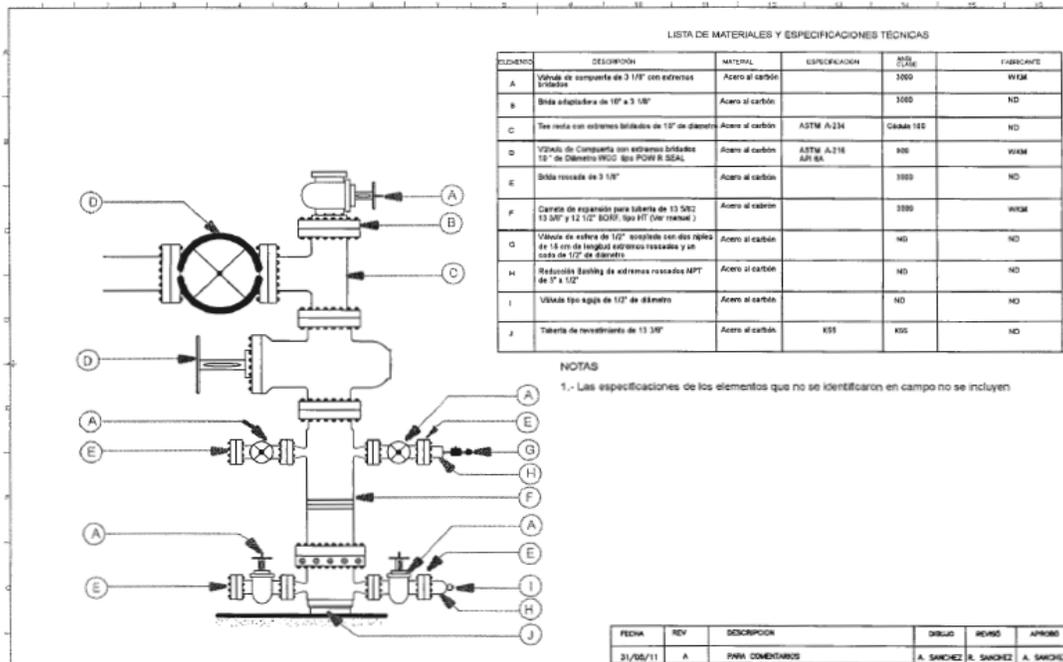
Para la ejecución de las pruebas de operación de los equipos de perforación mediante un test predefinido previo a las operaciones de rehabilitación del pozo, posterior se dará el orden de proceder.

Operaciones de limpieza mecánica

A continuación, se presenta un programa secuencial de todas las operaciones previstas a realizar durante los trabajos de rehabilitación del pozo:

- Operación de enfriamiento o matado de pozo verificando el estado de las válvulas laterales con las características mostradas en la figura 7 se analizará el caso si es necesario hacer el cambio, teniendo en cuenta que la altura del nivel piezométrico está a los 1000 metros y por encima a esta altura se encuentra una columna de gas.

Figura 7: Datos del cabezal instalado en el pozo SM2



- Armado de la sarta de 1371.2 m (110 piezas) se tomará en cuenta 130 piezas por eventualidades y 12 Drill Collars: 6 1/4" * 2 13/16 tipo espiral NC-50.
- para reconocimiento y rimado al interior del pozo:

- La operación de rimado consistirá en repasar con barrena de Φ 6", con rotación e inyección de agua como fluido desde el cabezal de pozo hasta llegar a la profundidad del colgador de 13 3/8. De encontrarse en presencia de incrustación al interior de la tubería de revestimiento de acuerdo al retorno del fluido que se tenga durante las operaciones de rimado, se utilizara agua y píldoras viscosas como fluido de perforación.
- Circular a la altura del colgador para el enfriamiento/ limpieza del pozo hasta llenar pozo, en caso de no obtener retorno completar 2 ciclos de circulación.
- Descender herramienta con barrena de 6" para liberar obstrucción que se presenta a los 1260 m.
- En el caso que se presenten pérdidas de circulación de gran magnitud o totales durante el reconocimiento se utilizara píldoras viscosas (preparadas con material viscosificante) para mejorar la suspensión de los recortes de material de incrustación, se recupera herramienta hasta superficie.
- Finalizada la operación de reconocimiento al interior del pozo circular lo suficiente para la limpieza del fondo del agujero (2 ciclos aproximadamente) observado si se detecta en recortes en la temblorina para iniciar otro ciclo.
- Ejecución de circulación para la limpieza con uso de fluido aireado (agua/aire) para saca a superficie el material de incrustación removido durante la limpieza mecánica, el tiempo necesario para obtener retorno y salida de material, recuperar herramienta a superficie.
- Desmontaje y desmovilización del equipo.

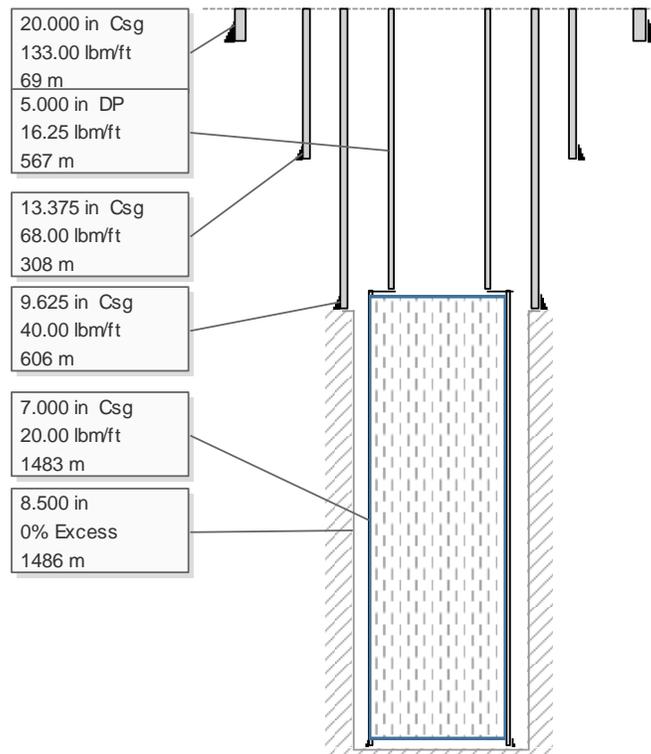
Descenso de liner

Se realizará la corrida y anclaje de la tubería ciega y ranurada del liner de 7" k-55 de 26 lb/ft con la zapata guía de 7" k-55 STD buttress, se conectará el colgador "Liner Hanger" de 7" k-55, seguidamente se conectará con el Setting tool a la tubería de 5".

Se baja la sarta con tubería de perforación TP de 5" con una longitud de 567 metros (50 tiros).

Se baja tubería lisa de 7" de 50 metros (4 tiros) y tubería ranurada de 7" 866.5 metros (69 tiros) como se muestra en la figura 8.

Figura 8: Perfil del pozo SM2



Se realiza el descenso de la tubería ciega y ranurada de 7" anclada a los 687 m (donde se aloja el Liner Hanger). Se recupera la sarta hasta superficie.

Se realizará el reconocimiento del pozo con nueva sarta (combinada de tubería de perforación de 5" / 3 1/2 de diámetro, hasta alcanzar el fondo del liner ranurado de 7" instalado.

Realizar circulación al fondo inyectando fluido durante dos ciclos de circulación, con el objetivo de garantizar la remoción de fragmentos de formación arrastrados al interior del liner durante el descenso del mismo.

Recuperación de sarta a superficie con la desconexión total de la misma.

Servicios de aire

Se ha previsto el uso del Servicio de Aire durante las Operaciones de intervención, para mejorar el proceso de limpieza y remoción de materiales de incrustación al interior del pozo, durante el proceso de limpieza mecánica del pozo, durante las operaciones al interior del pozo de 9 5/8.

La descarga de fluidos de la línea de Retorno será efectuada al interior de un Tanque del Circuito de lodos del Equipo. De existir fugas o derrames de fluidos durante las operaciones, el uso del fluido aireado será limitado o suspendido.

Se desmonta el sistema de preventores de 13 3/8 instalando la válvula maestra de 10".

9.2.1 Operaciones finales

Desmontaje del arreglo de preventores e instalaciones superficiales utilizadas en el cabezal para la intervención, montaje del arreglo del cabezal definitivo: instalación de la válvula maestra de 10", ANSI 600, con un carrete adaptador de 13 5/8 * 11" API-2000, una brida de 13 5/8 API-2000 para tubería de revestimiento de 13 3/8" y 2 válvulas laterales de 3" ANSI 600 RJ.

Durante la maniobra de desmontaje del cabezal de intervención e instalación de válvula maestra del pozo se mantendrá la inyección continua al interior del pozo.

9.2.2 Cronograma de intervención

Se presenta a continuación secuencia de Operaciones y estimado de tiempo como se muestra en la siguiente tabla 7:

Tabla 7: Tiempo de rehabilitación pozo SM2

Descripción de Actividad	Duración (días)	Duración Acumulada (días)
Movilización de todos los componentes del equipo	7	7
Montaje de Equipos y accesorios	7	14
Pruebas de operación de los equipos	1	15
Reconocimiento/limpieza al interior de la TR de 9 5/8" hasta fondo de pozo	3-4	18
Instalación del liner	1	19
Pruebas/Registros de Pozo – quebrado de sarta e instalación de cabezal.	2-4	23

9.2.3 Costos de los materiales

En la tabal 8 se describe el costo de la válvula y la tubería de producción (liner).

Tabla 8: Presupuesto de la rehabilitación pozo SM2

Materiales	Unidad	Cant.	costo unitario	costo total
Válvula Maestra de 10", ANSI 900 – RJ. (Incluir dos (2) set de pernos y sus respectivas tuercas)	C/U	1	\$b 50,000.00	\$b 50,000.00
Carrete adaptador (Expansion Spool), 13 5/8" x 11" D.I., API-3000, con dos salidas laterales de 3", ANSI-900 RJ	C/U	1	\$b 12,500.00	\$b 12,500.00
Válvula Lateral de 3", ANSI-900 RJ	C/U	2	\$b 7,000.00	\$b 14,000.00
Brida Superior 10", ANSI-900, Slip-On. (Incluir dos (2) juegos de pernos y sus respectivas tuercas para la brida)	C/U	1	\$b 4,500.00	\$b 4,500.00
Brida de 13 5/8", API-3000 (Companion Flange), rosca Buttress	C/U	1	\$b 5,000.00	\$b 5,000.00
Brida Superior 10", ANSI-900, Slip-On	C/U	1	\$b 4,500.00	\$b 4,500.00
Brida 3" – ANSI 900 RJ, Slip-On	C/U	1	\$b 125.00	\$b 125.00
Empaque Metálico, AISI 309, Tipo R-31 (O´ring)	C/U	1	\$b 250.00	\$ 250.00
Empaque Metálico, AISI 309, Tipo R-53 (O´ring)	C/U	1	\$b380.00	\$b 380.00
Tubería de Rev., 7 ", K-55, 26 lb/pie, sin costura, Buttress	m	867	\$b 115.00	\$b 99,705.00
COSTO TOTAL				\$b 186,460.00

9.3. Programa de rehabilitación del pozo SM-3

El pozo SM3 fue construido el 21 de abril de 1989 al 15 de octubre del mismo año con un periodo de suspensión del 15 de junio al 19 de septiembre, debido a las condiciones de frío extremo, se ubica a 550 m del SM-1 y a 700 m al este del SM2 con una profundidad total de 1406 m y teniendo un agujero descubierto desde los 765 m hasta fondo. Los perfiles de temperatura durante la perforación indican las siguientes zonas permeables de 950 a 1000 m y de 1200 a 1400 m. Las condiciones termodinámicas del pozo registradas en ese entonces, corresponden a 55 bar y 260°C a la profundidad medida de los intervalos permeables. La intervención del pozo SM3 comprende operaciones para enfriamiento del pozo, remoción de materiales de incrustación al interior del pozo, a través de un proceso de limpieza mecánica con el uso de la sarta de perforación. Limpiando y/o removiendo materiales de incrustación de la zona de obstrucción.

9.3.1. Datos generales

Latitud: 7,520,096.83 N
Longitud: 628,941.20 E
Elevación: 4,884.77 m.s.n.m.
Profundidad total: 1,406 m

Figura 9: Pozo geotérmico Sol de Mañana 3



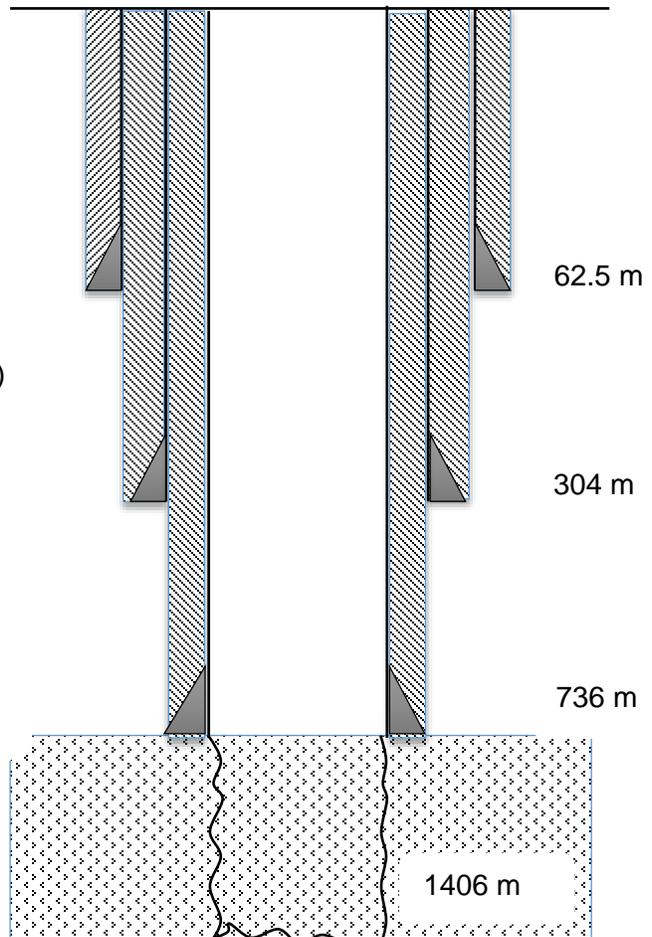
9.3.2. Perfil del Pozo SM-3

PRIMERA FASE (Φ agujero 26")
Cañería Φ 20", 94 lb/ft, K-55
Prof. Zapata = 58 m.

SEGUNDA FASE (Φ agujero 17 1/2")
Cañería Φ 13 3/8", 54,5 lb/ft, K-55
Prof. Zapata = 298 m. con 3° de

TERCERA FASE (Φ agujero 9 5/8")
Cañería Φ 9 5/8", 40 lb/ft, K-50
Prof. Zapata = 731 m, con 2° de

CUARTA FASE (Φ agujero 8 1/2")
Pérdida total de circulación a los



9.3.3. Operaciones

Movilización y montaje del equipo

Movilización de los equipos de perforación hacia la plataforma del SM1 donde se efectuará en el contrapozo.

Uso de los agujeros de servicios existentes (rata-ratón).

Se instalará el cabezal de intervención sobre una Tee de 10" al interior del contrapozo: carrete adaptador, preventor doble RAM, Tipo Cameron, 13 5/8" x 3,000 psi, incluir la brida de 13 5/8" a instalar en tubería de 13 3/8".

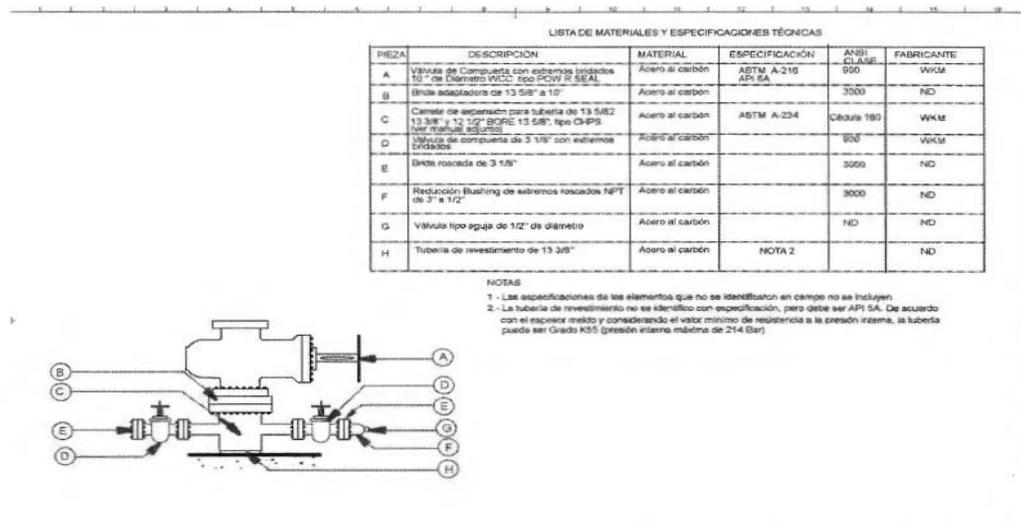
Para la ejecución de las pruebas de operación de los equipos de perforación mediante un test predefinido previo a las operaciones de rehabilitación del pozo, posterior se dará el orden de proceder.

Operaciones de limpieza mecánica

A continuación, se presenta un programa secuencial de todas las operaciones previstas a realizar durante los trabajos de rehabilitación del pozo:

- Operación de enfriamiento o matado de pozo verificando el estado de las válvulas con las características mostradas en la figura 10 laterales en caso sea necesario hacer el cambio, teniendo en cuenta que la altura del nivel piezométrico está a los 900 metros y por encima a esta altura se encuentra una columna de gas.

Figura 10: Datos del cabezal instalado en el pozo SM3



- Armado de la sarta para reconocimiento y rimado al interior del pozo:
- La operación de rimado consistirá en repasar con rotación e inyección de agua como fluido desde el cabezal de pozo hasta llegar a la profundidad del colgador de 13 3/8. De encontrarse en presencia de incrustación al interior de la tubería de revestimiento de

acuerdo al retorno del fluido que se tenga durante las operaciones de rimado, se utilizara agua y píldoras viscosas como fluido de perforación.

- Circular a la altura del colgador para el enfriamiento/ limpieza del pozo hasta llenar pozo.
- Descender herramienta con barrena de 6” para realizar el reconocimiento del pozo hasta los 1406 m.
- Ejecución de circulación para la limpieza con uso de fluido aireado (agua/aire) para saca a superficie el material de incrustación removido durante la limpieza mecánica, el tiempo necesario para obtener retorno y salida de material, recuperar herramienta a superficie.

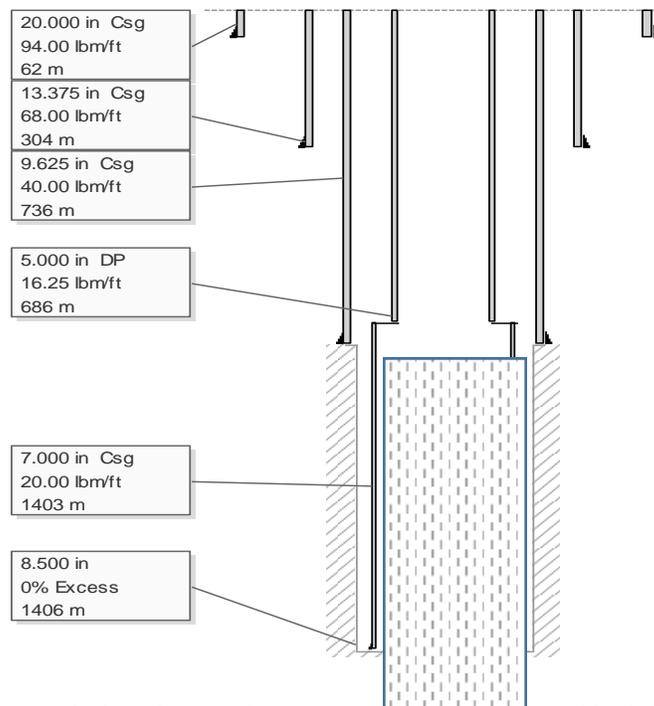
Descenso de liner

Se realizará la corrida y anclaje de la tubería ciega y ranurada el liner de 7” k-55 de 26 lb/ft con la zapata guía de 7” k-55 STD buttress, se enrosco el colgador “Liner Hanger” de 7” k-55, seguidamente se conectó con el Setting tool a la tubería de 5”.

Se baja la sarta con tubería de perforación TP de 5” con una longitud de 686 metros (5 tiros).

Se baja tubería lisa de 7” de 50 metros (4 tiros) y tubería ranurada de 7” 667 metros (54 tiros) como se muestra en la figura 11.

Figura 11: Perfil del pozo SM3



Se realiza el descenso de la tubería ciega y ranurada de 7” anclándola a los 686 m (donde se aloja el Liner Hanger).

Se recupera la sarta hasta superficie. Se realizará el reconocimiento del pozo con nueva sarta (combinada de tubería de perforación de 5" / 3 ½ de diámetro, hasta alcanzar el fondo del liner ranurado de 7" instalado.

Realizar circulación al fondo inyectando fluido durante dos ciclos de circulación, con el objetivo de garantizar la remoción de fragmentos de formación arrastrados al interior del liner durante el descenso del mismo. Recuperación de sarta a superficie con la desconexión total de la misma.

Servicios de aire

Se ha previsto el uso del Servicio de Aire durante las Operaciones de intervención, para mejorar el proceso de limpieza y remoción de materiales de incrustación al interior del pozo, durante el proceso de limpieza mecánica del pozo, durante las operaciones al interior del pozo de 9 5/8.

La descarga de fluidos de la línea de Retorno será efectuada al interior de un Tanque del Circuito de lodos del Equipo. De existir fugas o derrames de fluidos durante las operaciones, el uso del fluido aireado será limitado o suspendido.

Operaciones finales

Se desmonta el sistema de pre ventores de 13 3/8 instalando la válvula maestra de 10".

Desmontaje del arreglo de pre ventores e instalaciones superficiales utilizadas en el cabezal para la intervención, montaje del arreglo del cabezal de intervención e instalación de la válvula maestra de 10", ANSI 600, con un carrete adaptador de 13 5/8 * 11" API-2000, una brida con de 13 5/8 API-2000 para tubería de revestimiento de 13 3/8 y 2 válvulas laterales de 3" ANSI 600 RJ.

Durante la maniobra de desmontaje del cabezal de intervención e instalación de válvula maestra del pozo se mantendrá la inyección continua al interior del pozo.

Cronograma de intervención

Se presenta a continuación secuencia de Operaciones y estimado de tiempo como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9: Tiempo de rehabilitación pozo SM3

Descripción de Actividad	Duración (días)	Duración Acumulada (días)
Movilización de todos los componentes del equipo	7	7
Montaje de Equipos y accesorios	7	14
Pruebas de operación de los equipos	1	15
Reconocimiento/limpieza al interior de la TR de 9 5/8" hasta fondo de pozo	1	16
Instalación del liner	1	17

Pruebas/Registros de Pozo – quebrado de sarta e instalación de cabezal.	2-3	20
---	-----	----

Costos de los materiales

A continuación en la tabla 10 se describe la cantidad y los costos de los materiales que se requerirán durante la rehabilitación del pozo SM-3.

Tabla 10: Presupuesto de la rehabilitación pozo SM-3

Materiales	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Válvula Maestra de 10", ANSI 900 – RJ	C/U		\$b 50,000.00	\$b 50,000.00
Carrete adaptador (Expansión Spool), 13 5/8" x 11" D.I., API-3000, con dos salidas laterales de 3", ANSI-900 RJ	C/U	1	\$b 12,500.00	\$b 12,500.00
Válvula Lateral de 3", ANSI-900 RJ, Incluir dos (2) juegos de pernos y sus respectivas tuercas para la brida	C/U	2	\$b 7,000.00	\$b14,000.00
Brida de 13 5/8", API-3000 (Companion Flange), rosca Buttress	C/U	1	\$b 5,000.00	\$b 5,000.00
Brida Superior 10", ANSI-900, Slip-On	C/U	1	\$b 4,500.00	\$b 4,500.00
Brida 3" – ANSI 900 RJ, Slip-On	C/U	1	\$b 125.00	\$b 125.00
Empaque Metálico, AISI 309, Tipo R-31 (O´ring)	C/U	1	\$b 250.00	\$b 250.00
Empaque Metálico, AISI 309, Tipo R-53 (O´ring)	C/U	1	\$b 380.00	\$b 380.00
Tubería de Rev., 7 ", K-55, 26 lb/pie, sin costura, Buttress	m	667	\$b 115.00	\$b 76,705.00
COSTO TOTAL				\$b 163,460.00

9.4. Programa de rehabilitación del pozo SM-5

El pozo SM5 fue perforado entre el 3 de marzo y el 30 de mayo de 1992, a 700 m al noroeste del pozo SM2, quedando originalmente a los 900 m de profundidad. Debido a que las condiciones térmicas encontradas no fueron satisfactorias, ENDE realizó una profundización del mismo en el periodo del 9 de septiembre al 8 de noviembre de 1992

quedando terminado a una profundidad total de 1705 m quedando en agüero descubierto desde los 900 m. El pozo atravesó formaciones relativamente impermeables hasta los 900 m, con intercalaciones de niveles con circulación normal y niveles con pérdidas parciales. Por debajo de esta profundidad y hasta fondo de pozo, se observaron pérdidas totales de circulación. Durante las últimas pruebas de producción se realizó la apertura de la válvula principal del pozo y no funcionó adecuadamente debido a la incrustación de bicarbonato de amonio, lo que evitaba la producción de fluidos geotérmicos debido a la obstrucción dentro de la tubería desde superficie.

La intervención del pozo SM5 comprende operaciones para enfriamiento del pozo, remoción de materiales de incrustación al interior del pozo, a través de un proceso de limpieza mecánica con el uso de la sarta de perforación. Limpiando y/o removiendo materiales de incrustación de la zona de obstrucción.

9.4.1. Datos generales

Latitud: 7, 590,343.18 N
Longitud: 627,509.74 E
Elevación: 4,903.54 m.s.n.m.
Profundidad total: 1,705m

Figura 12: Pozo geotérmico Sol de Mañana 5



9.4.2. Perfil del Pozo SM-5

PRIMERA FASE (Φ agujero 17 1/2" X 26")

Cañería Φ 20", 94 lb/ft, K-55

Prof. Zapata = 69 m.

SEGUNDA FASE (Φ agujero 17 1/2")

Cañería Φ 13 3/8", 54,5 lb/ft, K-55

Prof. Zapata = 298 m

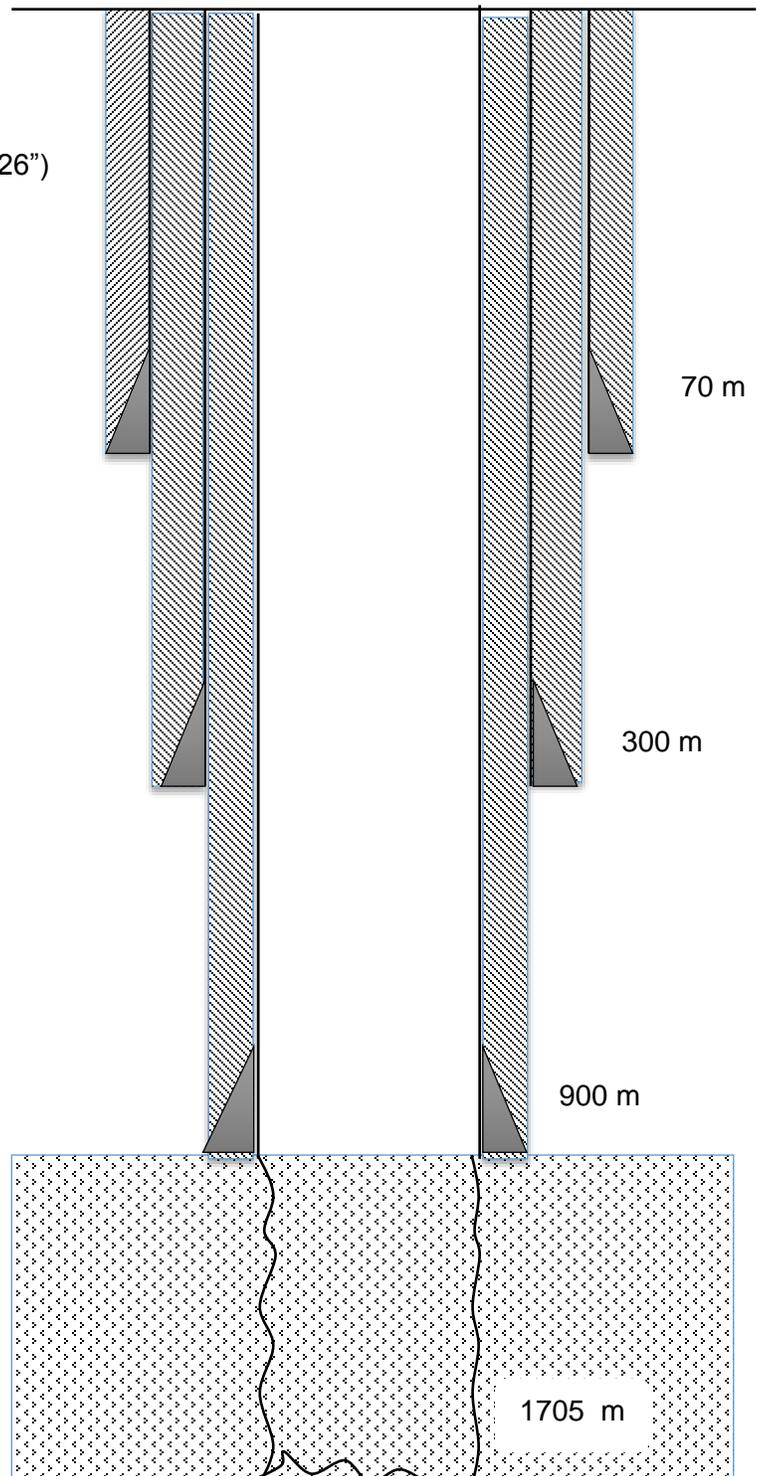
TERCERA FASE (Φ agujero 9 5/8")

Cañería Φ 9 5/8", 40 lb/ft, K-50

Prof. Zapata = 878 m.

CUARTA FASE (Φ agujero 8 1/2")

Pérdidas totales a los 1702 m.



9.4.3. Operaciones

Movilización y montaje del equipo

Movilización de los equipos de perforación hacia la plataforma del SM1 donde se efectuará en el contrapozo.

Se instalará el cabezal de intervención sobre una Tee de 10" al interior del contrapozo: carrete adaptador, preventor doble RAM, Tipo Cameron, 13 5/8" x 3,000 psi, incluir la brida de 13 5/8" a instalar en tubería de 13 3/8".

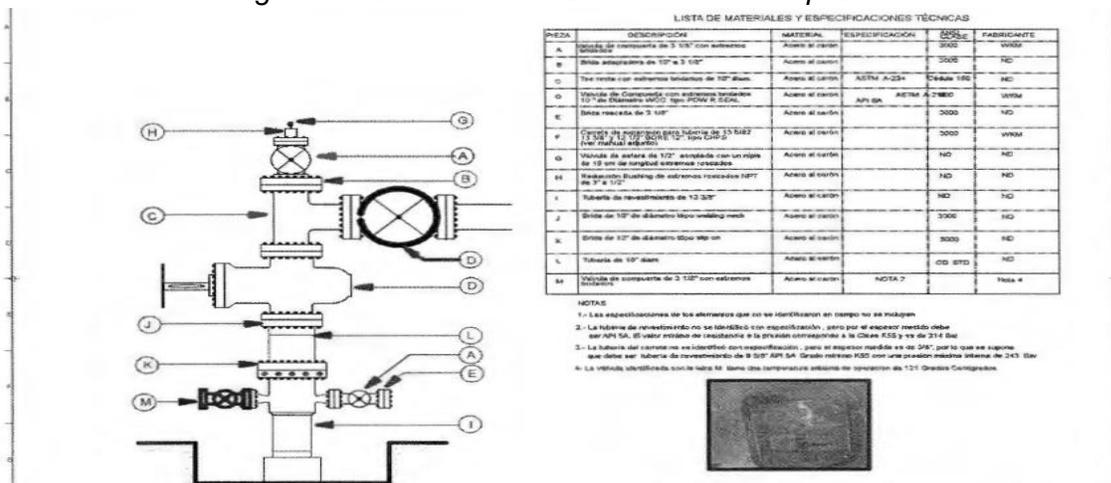
Para la ejecución de las pruebas de operación de los equipos de perforación mediante un test predefinido previo a las operaciones de rehabilitación del pozo, posterior se dará el orden de proceder.

Operaciones de limpieza mecánica

A continuación, se presenta un programa secuencial de todas las operaciones previstas a realizar durante los trabajos de rehabilitación del pozo:

- Operación de enfriamiento o matado de pozo verificando el estado de las válvulas con las características mostradas en la figura 11 y tomando en cuenta la altura del nivel piezométrico está a los 920 metros y por encima a esta altura se encuentra una columna de gas.

Figura 13: Datos del cabezal instalado en el pozo SM5



- Armado de la sarta para reconocimiento y rimado al interior del pozo:
- La operación de rimado consistirá en repasar con rotación e inyección de agua como fluido desde el cabezal de pozo hasta llegar a la profundidad del colgador de 13 3/8. De encontrarse en presencia de incrustación al interior de la tubería de revestimiento de acuerdo al retorno del fluido que se tenga durante las operaciones de rimado, se utilizara agua y píldoras viscosas como fluido de perforación.
- Circular a la altura del colgador para el enfriamiento/ limpieza del pozo hasta llenar pozo.
- Descender herramienta con barrena de 6" para liberar obstrucción que se presenta desde la primera etapa.

- Finalizada la operación de reconocimiento al interior del pozo circular lo suficiente para la limpieza del fondo del agujero (2 ciclos aproximadamente) observado si se detecta en recortes en la temblorina para iniciar otro ciclo.
- Ejecución de circulación para la limpieza con uso de fluido aireado (agua/aire) para sacar a superficie el material de incrustación removido durante la limpieza mecánica, el tiempo necesario para obtener retorno y salida de material, recuperar herramienta a superficie.
-

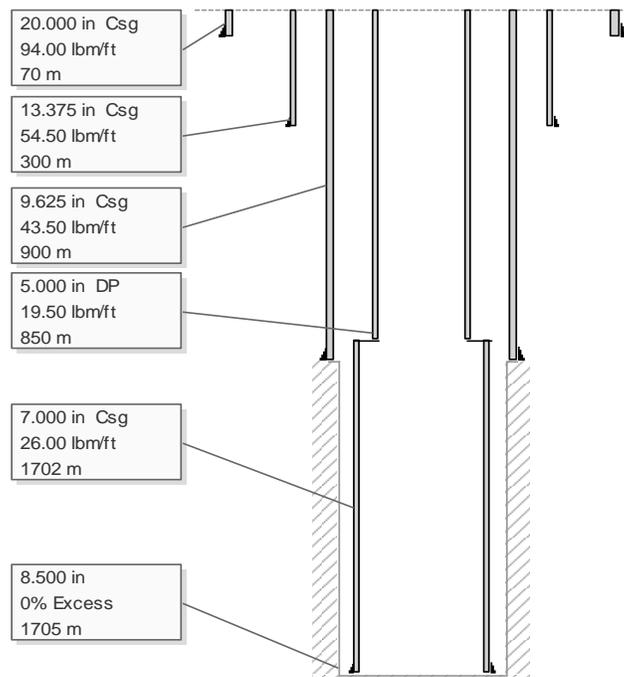
9.3.1 Descenso de liner

Se realizará la corrida y anclaje de la tubería ciega y ranurada el liner de 7" k-55 de 26 lb/ft con la zapata guía de 7" k-55 STD buttress, se enrosca el colgador "Liner Hanger" de 7" k-55, seguidamente se conectó con el Setting tool a la tubería de 5".

Se baja la sarta con tubería de perforación TP de 5" con una longitud de 850 metros (68 tiros).

Se baja tubería lisa de 7" de 50 metros (4 tiros) y tubería ranurada de 7" 808 metros (65 tiros) como se muestra en la figura 14.

Figura 14: Perfil del pozo SM5



Se realiza el descenso de la tubería ciega y ranurada de 7" anclandola a los 687 m (donde se aloja el Liner Hanger).

Se recupera la sarta hasta superficie.

Se realizará el reconocimiento del pozo con nueva sarta (combinada de tubería de perforación de 5" / 3 ½ de diámetro, hasta alcanzar el fondo del liner ranurado de 7" instalado.

Realizar circulación al fondo inyectando fluido durante dos ciclos de circulación, con el objetivo de garantizar la remoción de fragmentos de formación arrastrados al interior del liner durante el descenso del mismo.

Recuperación de sarta a superficie con la desconexión total de la misma.

Servicios de aire

Se ha previsto el uso del Servicio de Aire durante las Operaciones de intervención, para mejorar el proceso de limpieza y remoción de materiales de incrustación al interior del pozo, durante el proceso de limpieza mecánica del pozo, durante las operaciones al interior del pozo de 9 5/8.

La descarga de fluidos de la línea de Retorno será efectuada al interior de un Tanque del Circuito de lodos del Equipo. De existir fugas o derrames de fluidos durante las operaciones, el uso del fluido aireado será limitado o suspendido.

Se desmonta el sistema de preventores de 13 3/8 instalando la válvula maestra de 10".

Operaciones finales

Desmontaje del arreglo de preventores e instalaciones superficiales utilizadas en el cabezal para la intervención, montaje del arreglo del cabezal definitivo: instalación de la válvula maestra de 10", ANSI 600, con un carrete adaptador de 13 5/8 * 11" API-2000, una brida de 13 5/8 API-2000 para tubería de revestimiento de 13 3/8 y 2 válvulas laterales de 3" ANSI 600 RJ.

Durante la maniobra de desmontaje del cabezal de intervención e instalación de válvula maestra del pozo se mantendrá la inyección continua al interior del pozo.

Cronograma de intervención

Se presenta a continuación secuencia de Operaciones y estimado de tiempo como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11: Tiempo de rehabilitación pozo SM5

Descripción de Actividad	Duración (días)	Duración Acumulada (días)
Movilización de todos los componentes del equipo	7	7
Montaje de Equipos y accesorios	7	14
Pruebas de operación de los equipos	1	15
Reconocimiento/limpieza al interior de la TR de 9 5/8" hasta fondo de pozo	3-4	19

Instalación del liner	1	20
Pruebas/Registros de Pozo – quebrado de sarta e instalación de cabezal.	3-4	24

9.3.2 Costos de los materiales

Los principales materiales para realizar la rehabilitación del pozo SM-5 en la válvula sus accesorios y la tubería de producción (liner), como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12: Presupuesto de la rehabilitación pozo SM5

Materiales	Unidad	Cant.	Costo unitario	Costo total
Válvula Maestra de 10", ANSI 900 – RJ	C/U	1	\$b 50,000.00	\$b 50,000.00
Carrete adaptador (Expansion Spool), 13 5/8" x 11" D.I., API-3000, con dos salidas laterales de 3", ANSI-900 RJ	C/U	1	\$b 12,500.00	\$b 12,500.00
Válvula Lateral de 3", ANSI-900 RJ	C/U	2	\$b 7,000.00	\$b 14,000.00
Brida de 13 5/8", API-3000 (Companion Flange), rosca Buttress	C/U	1	\$b 5,000.00	\$b 5,000.00
Brida Superior 10", ANSI-900, Slip-On	C/U	1	\$b 4,500.00	\$b 4,500.00
Brida 3" – ANSI 900 RJ, Slip-On	C/U	1	\$b 125.00	\$b 125.00
Empaque Metálico, AISI 309, Tipo R-31 (O´ring)	C/U	1	\$b 250.00	\$b 250.00
Empaque Metálico, AISI 309, Tipo R-53 (O´ring)	C/U	1	\$b 380.00	\$b 380.00
Tubería de Rev., 7 ", K-55, 26 lb/pie, sin costura, Buttress	m	808	\$b 115.00	\$b 92,920.00
COSTO TOTAL				\$b 179,675.00

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. Conclusiones

Con base al estudio realizado se concluyó lo siguiente:

Con la implementación de la propuesta de rehabilitación de los pozos productores SM-1, SM-2; SM-3 y SM-5, se podrá corregir o mitigar los problemas actualmente diagnosticados y al mismo tiempo se garantiza que estos operan de forma segura continua en un futuro aprovechamiento en una central geotermoeléctrica de 100 MWe, y así aprovechar la inversión realizada.

Para la propuesta de rehabilitación se consideró la experiencia de proyectos en campos similares como los realizados en LaGeo, tomando como base la información de las condiciones actuales de los pozos antes citados.

Durante la ejecución Intervención mecánica podría ser necesario efectuarle algunos ajustes y/o modificaciones de acuerdo a las condiciones particulares y reales que se encuentren al interior de los pozos y al entorno en donde están ubicados.

Para la ejecución del proyecto algunos costos de los materiales y el tiempo de ejecución para la rehabilitación pueden ser variables durante el servicio que deberán ser consideradas en la elaboración de los términos de referencia.

Dado que se cuenta con información limitada sobre el historial y pruebas realizadas en los pozos objetos de estudio, el análisis y alcance del trabajo se ha realizado de forma general y con base a las condiciones actuales que se pudieron definir.

10.2. Recomendaciones

Costar con un registro continuo y de calidad con de información tales como pruebas de producción, mediciones PTS, pruebas de inyektividad y datos geológicos de los pozos (todo registrado en bitácora), es de vital importancia en este tipo de trabajos de rehabilitación como el presente.

11. AGRADECMIENTOS

En esta oportunidad queremos agradecer a LaGeo, empresa geotérmica salvadoreña miembro del Grupo CEL, el United Nations University Geothermal Training Programme, de Islandia (UNU-GTP) y a la Universidad de El Salvador (UES) por darnos la oportunidad de participar en el “Diplomado en Geotermia para América Latina, El Salvador 2017”.

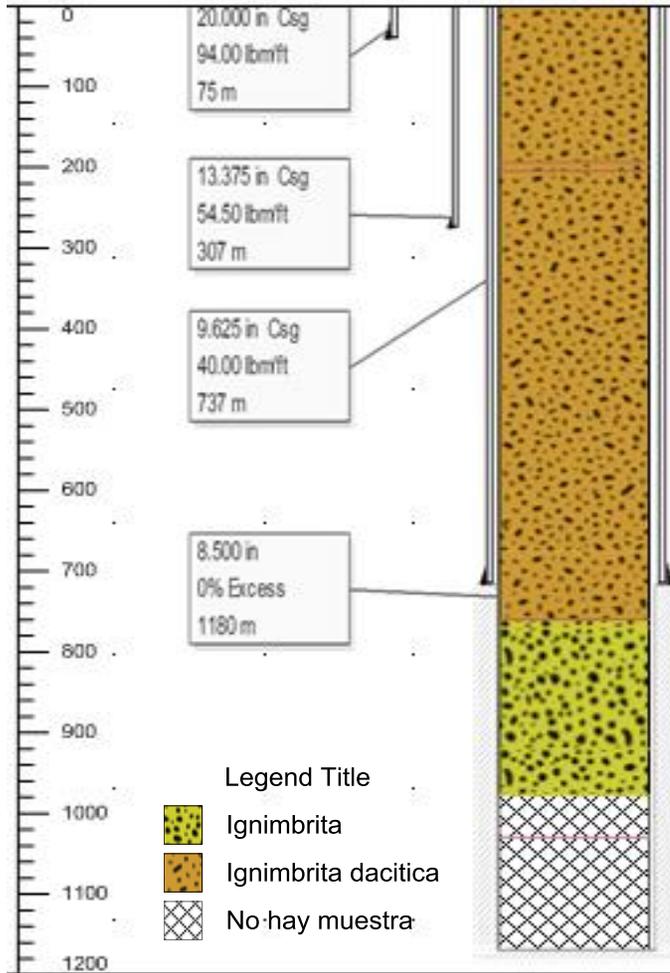
También deseamos agradecer al Juan Antonio Polío Hernández, Herbert Manuel Mayorga Lemus y Álvaro Flamenco por su dedicación en el desarrollo de este proyecto. Asimismo, nuestro pleno reconocimiento a los instructores que construyeron en nuestra formación con su experiencia y capacidad en el “Diplomado en Geotermia para América Latina, El Salvador 2017”.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

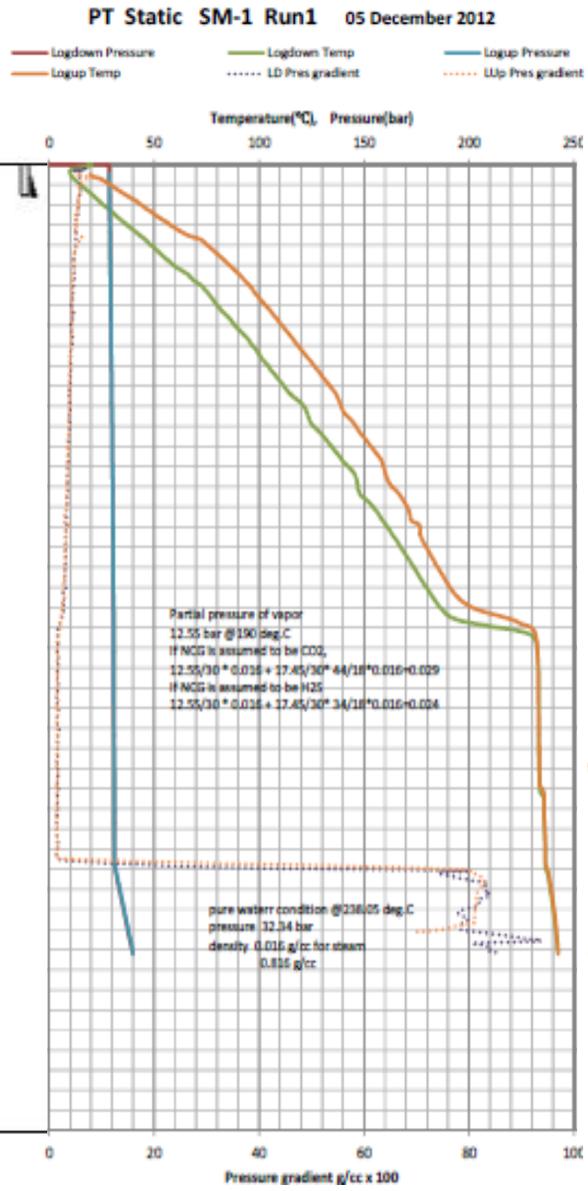
- Prof. Martín Essinfeld, Manual Teórico-Práctico De Ingeniería De Completación Y Rehabilitación De Pozos Escuela De Petróleo De La U.C.V., 2005, Caracas.
- Barrera Montero Benito, Herramientas De Pesca Utilizadas Durante La Etapa De Perforación De Un Pozo Petrolero, 2014, Mexico D.F.
- Ing. L. Mendoza, Nombre Del Sitio Web: Perfoblogger, Nombre Del Sitio Web: Perfoblogger, 2015, junio, 23, [Http://Perfob.Blogspot.Com/2015/06/Completacion-Y-Rehabilitacion-De-Pozos.Html](http://Perfob.Blogspot.Com/2015/06/Completacion-Y-Rehabilitacion-De-Pozos.Html)
- Comisión Federal De Electricidad, Informe Final Proyecto Geotermoelectrico Laguna Colorada, diciembre 1997.
- ENEL, Estudio De Factibilidad Geotérmica En El Área De Laguna Colorada, octubre 1989.
- Westjec, Proyecto Geotérmico Laguna Colorada, Ampliación De Perforaciones Geotécnicas, 1994

13. APENDICE

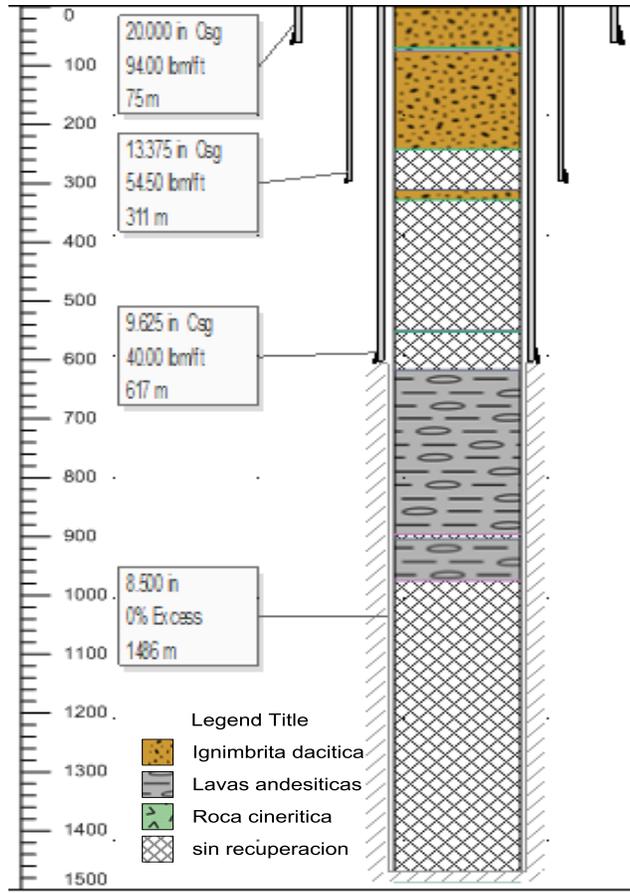
SM-1



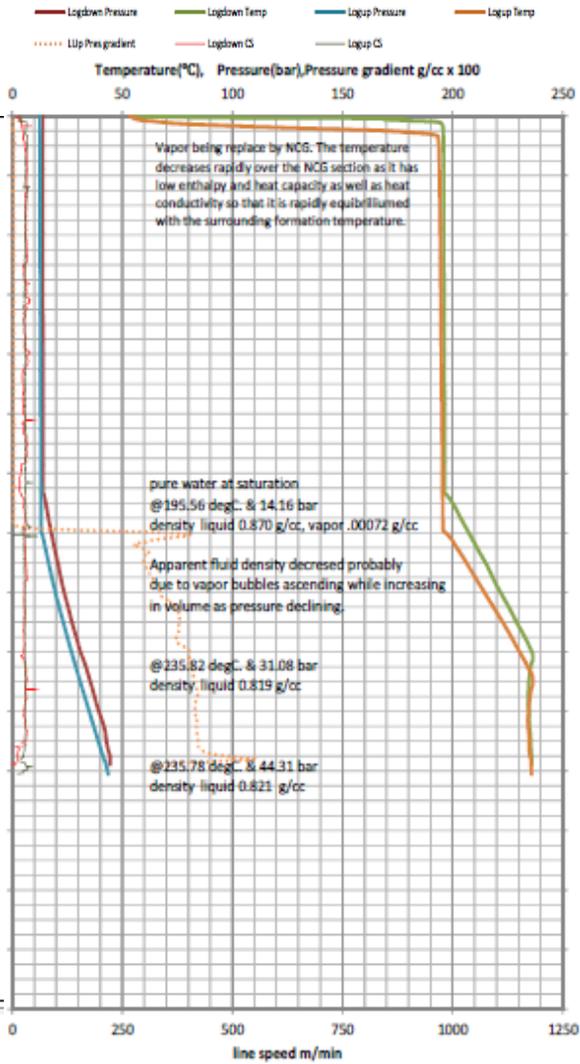
- Legend Title
- Ignimbrita
 - Ignimbrita dacitica
 - No-hay muestra



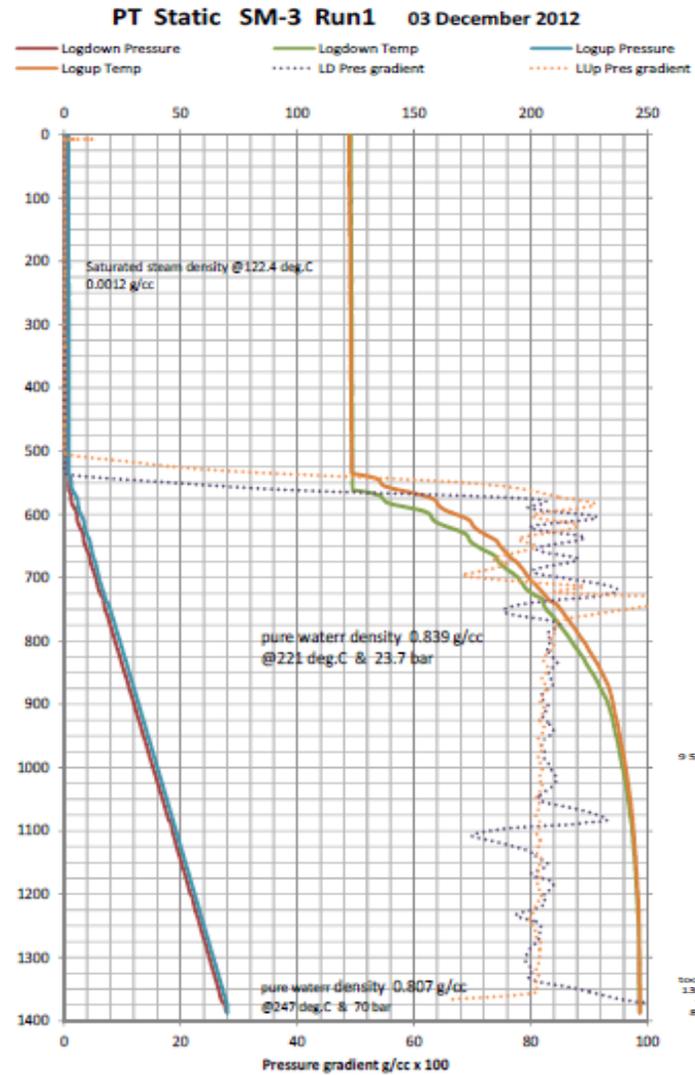
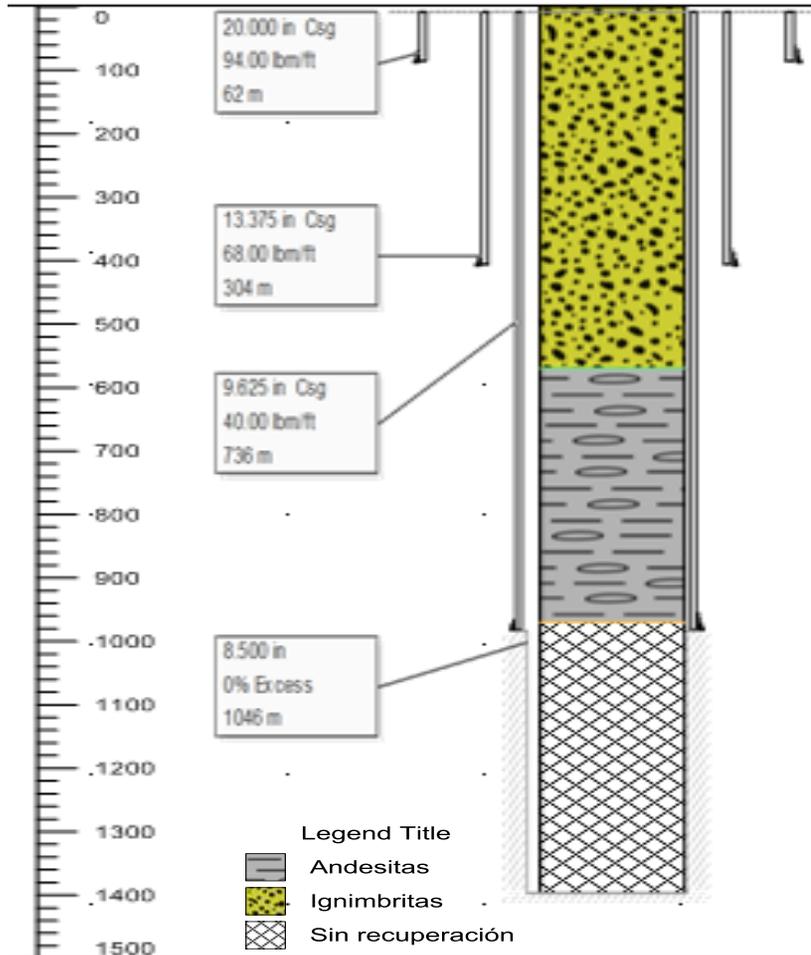
SM-2



PTS Temperature Recovery SM-2 Run1 3 March 2013



SM-3



SM-5

