

Estado Plurinacional de Bolivia
Ministerio de Hidrocarburos y Energía
Empresa Nacional de Electricidad

Proyecto Preparatorio para el Proyecto
Construcción de la Central Geotérmica de
Laguna Colorada

Informe Final

Diciembre 2013

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN (JICA)

West Japan Engineering Consultants, Inc.

5R
JR
13-019

Tabla de Contenido

1.	Resumen de los Resultados del Proyecto	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Resumen del proyecto	2
1.3	Actividades y Resultados.....	3
2.	Cronograma de ejecución y aplicación.....	13
2.1	Cronograma de ejecución	13
2.2	Programa de implementación Actividad.....	14
3.	Aportes del Japón	17
3.1	Aportes del Japón	17
3.1.1	Antecedente del envío de expertos	17
3.1.2	Equipos donados a la contraparte boliviana de este proyecto	19
3.2	Aporte de Bolivia.....	24
3.2.1	Contraparte	24
3.2.2	Lugar de entrenamiento	24
3.2.3	Equipos para el estudio.....	24
4.	Actividades y logros del proyecto	28
4.1	Transferencia de tecnología en monitoreo ambiental	28
4.1.1	Elaboración del manual de monitoreo ambiental	28
4.1.2	Instalación de equipos meteorológicos.....	28
4.1.3	Concentración de sulfuro de hidrógeno en la atmósfera	30
4.1.4	Monitoreo en lagunas y ríos (Temperatura, pH, conductividad, salinidad y química).....	33
4.1.5	Monitoreo de química de gas tomada en zonas de fumarolas	37
4.1.6	Monitoreo de la temperatura del subsuelo a la profundidad de 1m en la zona de fumarolita	39
4.1.7	Monitoreo de la zona de fumarolas por registro fotográfico	40
4.2	Transferencia de la tecnología para los estudios de los pozos.....	42
4.2.1	Elaboración del Manual de Pruebas de Producción a largo plazo.....	42
4.2.2	Apoyo en la adquisición de los equipos donados por JICA.....	42
4.2.3	Inspección de la situación del Cabezal	43
4.2.4	Prueba de inyektividad del pozo SM-4.....	44
4.2.5	Selección de las rutas de las tuberías de reinyección	47
4.2.6	Instalaciones de pruebas en el pozo SM-1.....	52
4.2.7	Desmantelamiento en SM-1 e instalaciones en pozo SM-5	53
4.2.8	Desmantelamiento en SM-5, operaciones en SM-2 e instalaciones en pozo SM-3.....	54
4.2.9	Desmantelamiento en SM-3 e instalaciones en pozo SM-2	56
4.2.10	Desmantelamiento de equipo de la plataforma del pozo de SM-2	57
4.2.11	Característica de cada pozo a través de las pruebas de producción.....	58
4.2.12	Prueba de producción mediante registro PTS (Presión, Temperatura y Molinete).....	64

4.2.13	Monitoreo de presión de fondo mediante el tubo capilar	84
4.2.14	Medición de flujo en dos fases mediante los trazadores químicos (TFT)	88
4.2.15	Análisis químico de los fluidos geotérmicos	89
4.3	Transferencia de tecnología en la evaluación de yacimiento geotérmico.....	97
4.3.1	Malla numérica y condiciones de frontera.....	98
4.3.2	Calibración de Estado Natural	100
4.3.3	Calibración a datos históricos de producción	106
4.3.4	Evaluación del potencial del recurso geotérmico	111
4.4	Simulación de descarga de sulfuro de hidrógeno	123
4.4.1	Simulación para la descarga de sulfuro de hidrógeno	123
4.4.2	Lineamientos Aplicables de Calidad de Aire para Concentraciones de H ₂ S	124
4.4.3	Evaluación de Conformidad	125
4.4.4	Parámetros de descarga y Datos de Fuente de Emisión.....	129
4.4.5	Resultados de la evaluación de Impacto en la Calidad Ambiental	131
4.4.6	Conclusiones.....	135
4.5	Seminario.....	137
4.6	Logros :.....	138
5.	Capítulo 5 Estratagemas para la Ejecución Operativa y Administración del Proyecto, Lecciones aprendidas y Cambios de PDM	139
6.	Capítulo 6 Evaluación final del proyecto	142
6.1	Evaluación final del proyecto	142
6.2	Resultado de la evaluación final.....	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Organigrama para la ejecución del proyecto	13
Figura 4-1 Estación meteorológica	29
Figura 4-2 Datos obtenidos en la estación meteorológica en Sol de Mañana	30
Figura 4-3 Datos de observación para la concentración de H ₂ S en la atmósfera por 24 horas en Sol de Mañana (1)	31
Figura 4-4 Datos de observación para la concentración de H ₂ S en la atmósfera por 24 horas en Sol de Mañana (2)	32
Figura 4-5 Puntos de muestro del lagunas y ríos.....	34
Figura 4-6 Muestras del monitoreo de lagunas y ríos	35
Figura 4-7 Muestreo de gases en fumarolas	37
Figura 4-8 Química de las emanaciones superficiales	38
Figura 4-9 Mediciones periódicas de distribución de	39
Figura 4-10 Registro fotográfico de la zona de fumarolas (Excepto la superior	40
Figura 4-11 Colección de muestras durante las pruebas de producción y monitoreo ambiental	41
Figura 4-12 Profundidad de la fosa y su capacidad.....	45
Figura 4-13 Configuración en campo de la prueba de inyektividad utilizando el método del sifón	46
Figura 4-14 La lectura del medidor de vacío durante la reinyección utilizando el método del sifón	46
Figura 4-15 Plano inicial de la ruta de reinyección.....	47
Figura 4-16 Ruta de la tubería de reinyección del pozo SM-5 al pozo SM-1	48
Figura 4-17 Ruta de tubería actual (SM-1 -> SM-4	49
Figura 4-18 Ruta de tubería actual (SM-5 -> SM-4).	49
Figura 4-19 Ruta de tubería actual (SM-3 -> SM-4).	50
Figura 4-20 Ruta de tubería actual (SM-2 -> SM-4).	50
Figura 4-21 Vista de planta de la fosa de emergencia en el pozo SM-4	51
Figura 4-22 (izquierda) La construcción de la línea de tubería SM-4 -> SM-2 de 12 pulgadas de diámetro con tubo de polietileno de alta densidad (derecha) Tubería completa.	52
Figura 4-23 (izquierda) Fosa de respaldo, tubería de HDPE de 12 pulgadas entre el pozo SM-1 y el pozo SM-4 (en uso) (derecha) excavada cerca del pozo SM-4.....	52
Figura 4-24 Diagrama de instalación de equipos en el pozo SM-3.....	55
Figura 4-25 Fosa de almacenamiento de agua junto al pozo SM-3	56
Figura 4-26 Instalación para la remoción de incrustación en el pozo SM-2	57
Figura 4-27 Instalaciones superficiales para la prueba de pozo.....	59
Figura 4-28 Resultado de prueba de producción en SM-1.....	60
Figura 4-29 Resultado de prueba de producción en SM-3.....	61
Figura 4-30 Resultado de prueba de producción en SM-2.....	62
Figura 4-31 Comparación de características de producción en las pruebas de	64
Figura 4-32 Corrida de registros PTS en SM-1	65

Figura 4-33 Datos de registros PTS en condición estática en el pozo SM-1	66
Figura 4-34 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-1 (placa de orificio de 2")	67
Figura 4-35 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-1 (placa de orificio de 4")	68
Figura 4-36 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-1 (placa de orificio de 6")	69
Figura 4-37 Datos de registros SM-2 después de suspender la inyección	70
Figura 4-38 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-2 (placa de orificio de 2")	71
Figura 4-39 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-2 (placa de orificio de 4")	72
Figura 4-40 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-2 (placa de orificio de 6")	73
Figura 4-41 Datos de registros PTS en la condición estática en el pozo SM-3	74
Figura 4-42 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-3 (placa de orificio de 2")	75
Figura 4-43 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-3 (placa de orificio de 4")	76
Figura 4-44 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-3 (placa de orificio de 4")	77
Figura 4-45 Datos de registros PTS durante la prueba de producción en SM-3 (placa de orificio de 6")	78
Figura 4-46 Datos de registros PTS en condición estática en el pozo SM-4	79
Figura 4-47 Datos de registros PTS durante la reinyección en SM-4 (reinyección de salmuera en SM-3 con placa de orificio de 2")	80
Figura 4-48 Datos de registros PTS durante la reinyección en SM-4 (reinyección de salmuera en SM-3 con placa de orificio de 4")	81
Figura 4-49 Datos de registros PTS durante la reinyección en SM-4 (reinyección de salmuera en SM-3 con placa de orificio de 6")	82
Figura 4-50 Datos de registros PTS durante la reinyección en SM-4 (reinyección de salmuera en SM-3 con placa de orificio de 10")	83
Figura 4-51 Relación entre la cantidad de reinyección y la presión dentro de pozo en SM-4 durante la reinyección	84
Figura 4-52 Sistema de monitoreo de presión de fondo mediante el descenso de tubo capilar	86
Figura 4-53 Evolución de la presión de fondo en la profundidad de 800 m en SM-3 durante la prueba de producción en SM-1	86
Figura 4-54 Evolución de la presión de fondo en la profundidad de 950 m en SM-1 durante la prueba de producción en SM-3	87
Figura 4-55 Evolución de la presión de fondo en la profundidad de 1,000 m en SM-3 durante la prueba de producción en SM-2	87
Figura 4-56 Evolución de la presión de fondo en la profundidad de 950 m en SM-1 durante la prueba de producción en SM-2	88
Figura 4-57 Cromatógrafo de gases TFT, usando el controlador de flujo de gas de otro equipo	89
Figura 4-58 Comparación de la composición química de salmuera en 1997 y en presente (1)	93
Figura 4-59 Comparación de la composición química de salmuera en 1997 y en presente (2)	93
Figura 4-60 Comparación de la composición química de salmuera en 1997 y en presente (3)	94
Figura 4-61 Análisis de difracción de rayos X de muestra de incrustación	94

Figura 4-62 Comparación del resultado de análisis de gases en 1997 y en presente (1)	95
Figura 4-63 Comparación del resultado de análisis de gases en 1997 y en presente (2)	96
Figura 4-64 Comparación del resultado de análisis de gases en 1997 y en presente (3)	96
Figura 4-65 Vista de planta de las mallas; modelos numéricos del 2007 (izquierda) y 2013 (derecha) ..	99
Figura 4-66 Sección vertical de la malla del modelo numérico	99
Figura 4-67 Resultado de la calibración en estado natural del modelo del 2013	100
Figura 4-68 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-1 y Capa-2)	101
Figura 4-69 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-3 y Capa-4)	102
Figura 4-70 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-5 y Capa-6)	103
Figura 4-71 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-7 y Capa-8)	104
Figura 4-72 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-9 y Capa-10)	105
Figura 4-73 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-1 (2007)	107
Figura 4-74 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-3 (2007)	107
Figura 4-75 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-2 (2007)	108
Figura 4-76 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-5 (2007)	108
Figura 4-77 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-1 en 2012	108
Figura 4-78 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-2 en 2012	109
Figura 4-79 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-3 en 2012	109
Figura 4-80 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-3 durante la producción del pozo SM-1 en 2012	110
Figura 4-81 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-1 durante la producción del pozo SM-2 en 2012	110
Figura 4-82 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-3 durante la producción del pozo SM-2 en 2012	110
Figura 4-83 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-1 durante la producción del pozo SM-3 en 2012	111
Figura 4-84 Curva de producción vs presión de cabezal para el pozo SM-1	115
Figura 4-85 Curva de producción vs presión de cabezal para el pozo SM-2	115
Figura 4-86 Curva de producción vs presión de cabezal para el pozo SM-3	116
Figura 4-87 Resultados de la simulación de predicción (Caso-1, 100 MW x 1, reinyección al sur del área de producción)	116
Figura 4-88 Resultados de la simulación de predicción (Caso-2, 100 MW x 1 reinyección al desde la plataforma del pozo SM-4)	117
Figura 4-89 Resultados de la simulación de predicción (Caso-3, 50 MW x 2, reinyección al sur del área de producción)	117
Figura 4-90 Resultados de la simulación de predicción	118
Figura 4-91 Predicción de la distribución de agua reinyectada 10, 20, 30 años después para el Caso-3 y Caso-4 (Capa 3)	119

Figura 4-92 Predicción de la distribución de agua reinyectada 10, 20, 30 años después para el Caso-3 y Caso-4 (Capa 4)	120
Figura 4-93 Predicción de la distribución de agua reinyectada 10, 20, 30 años después para el Caso-3 y Caso-4 (Capa 5)	121
Figura 4-94 Predicción de la distribución de agua reinyectada 10, 20, 30 años después para el Caso-3 y Caso-4 (Capa 6)	122
Figura 4-95 Cuadrante Receptor de 10 Kilómetros.....	127
Figura 4-96 Plano esquemático para Planta de 50 MW.....	128
Figura 4-97 Plano esquemático para Planta de 100 MW	129
Figura 4-98 Concentración de H ₂ S en las coordenadas UTM 629002, 7520033 y 628946, 7519521 ..	137

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1 Actividad 1-1 y sus resultados	4
Tabla 1-2 Actividad 1-2 y sus resultados	4
Tabla 1-3 Actividad 1-3 y sus resultados	5
Tabla 1-4 Actividad 1-4 y su resultado	7
Tabla 1-5 Actividad 2-1 y su resultado	7
Tabla 1-6 Actividad 2-2 y su resultado	8
Tabla 1-7 Actividad 2-3 y su resultado	9
Tabla 1-8 Actividad 2-4 y su resultado	11
Tabla 1-9 Actividad 3-1 y su resultado	12
Tabla 1-10 Actividad 3-2 y su resultado	12
Tabla 1-11 Actividad 3-3 y su resultado	12
Tabla 2-1 Cronograma de ejecución	14
Tabla 2-2 Cronograma de utilización de recursos humanos(1/2)	15
Tabla 2-3 Cronograma de utilización de recursos humanos(2/2)	16
Tabla 3-1 Lista de expertos	17
Tabla 3-2 Lista de contratista	17
Tabla 3-3 Asignación de expertos	18
Tabla 3-4 Lista de equipos donados (1)	20
Tabla 3-5 Lista de equipos donados (2)	21
Tabla 3-6 Lista de equipos donados (3)	22
Tabla 3-7 Lista de equipos donados (4)	23
Tabla 3-8 Lista de personal de contraparte boliviana (hasta mayo de 2011)	24
Tabla 3-9 Lista de personal del contraparte Boliviana (Hasta mayo de 2013)	24
Tabla 3-10 Especificaciones de las juntas de anillo	25
Tabla 3-11 Reactivos químicos que estaban almacenados en el laboratorio de ENDE	26
Tabla 3-12 Lista de equipos para el análisis químico almacenado en el laboratorio de ENDE	27
Tabla 4-1 Posición de los puntos de medición de H ₂ S (WGS84)	32
Tabla 4-3 Datos de análisis químicos de las muestras	36
Tabla 4-2 Coordenadas del punto para la toma de muestras	36
Tabla 4-4 Coordenadas de puntos de medición de propiedades físicas de lagunas y ríos	36
Tabla 4-6 Lista de valores del análisis	38
Tabla 4-5 Coordenadas de los puntos para la toma de muestras	38
Tabla 4-7 Coordenadas de los agujeros de 1 m para la medición de temperatura del suelo	38
Tabla 4-8 Lista de datos de prueba de producción en SM-1, SM-3 y SM-2	63
Tabla 4-9 Composición química de agua condensada y de la salmuera, incluyendo el análisis isotópico	90
Tabla 4-10 Muestras tomadas durante la prueba de producción y el resultado del análisis químico de la	

salmuera (izquierda) y de gas (derecha)	91
Tabla 4-11 Resultado del análisis químico de muestras de salmuera en el separador durante la prueba de producción	92
Tabla 4-12 Lista de principales componentes químicos de gases no condensables en los fluidos geotérmicos.....	94
Tabla 4-13 Comparación de los modelos del 2007 y del 2013	98
Tabla 4-14 Valores de las propiedades de roca resultantes para el modelo 2013	106
Tabla 4-15 Monitoreo de presión durante las pruebas de producción del 2012	107
Tabla 4-16 Escenarios adoptados en la simulación de predicción.....	112
Tabla 4-17 Resumen de los resultados de la simulación de predicción (100 MW x 1, dos Casos).....	114
Tabla 4-18 Resumen de los resultados de la simulación de predicción (100 MW x 1, dos Casos).....	114
Tabla 4-19 Criterios de concentración atmosférica del Banco Mundial.....	124
Tabla 4-20 H ₂ S: Relación Dosis - Efecto	125
Tabla 4-21 Dimensiones de edificios usadas en la simulación de dispersión de H ₂ S.....	128
Tabla 4-22 Cantidad de H ₂ S en el vapor a utilizar en el modelo de dispersión del 2013	130
Tabla 4-23 Resumen de Datos de Fuente de Emisión	130
Tabla 4-24 Concentraciones Máximas de H ₂ S previstas y Valores de Concentraciones Críticas para una planta de 50 MW	133
Tabla 4-25 Concentraciones Máximas de H ₂ S previstas y Valores de Concentraciones Críticas para una planta de 100 MW	134
Tabla 6-1 Miembros de la misión de evaluación final.....	143

APÉNDICE

APÉNDICE 1: Logros de la Fase 0

APÉNDICE 2: Proceso de la Implementación de la Fase 0

APÉNDICE 3: Evaluación basada en los Cinco Criterios Relevancia

APÉNDICE 4: Evaluación basada en los Cinco Criterios Efectividad

APÉNDICE 5: Evaluación basada en los Cinco Criterios Eficiencia

APÉNDICE 6: Evaluación basada en los Cinco Criterios Impacto

APÉNDICE 7: Evaluación basada en los Cinco Criterios Sostenibilidad

APÉNDICE 8: Producto de Entrenamiento : "TRACER FLOW TESTING"

APÉNDICE 9: Fotografía de Actividades

1. Resumen de los Resultados del Proyecto

1.1 Antecedentes

Según el “Plan de Expansión del Sistema Interconectado Nacional 2010-2020”, elaborado por la Comisión Nacional de Despacho de Carga, la demanda máxima del sistema en 2009 fue de 915 MW con una capacidad instalada total de 1,162 MW. En el país se espera un 7.0 % de crecimiento anual promedio en la demanda en el futuro próximo. Por lo tanto, el desarrollo de nuevas fuentes de energía es un tema por lo cual el país debe tomar acciones sin demora. Por otro lado, las actividades mineras en suroeste del país están impulsando el crecimiento de la demanda de electricidad en ese sector, a pesar de que esta región no cuenta con una fuente de energía a gran escala. Por esta razón, la región no cuenta con medios suficientes para suministrar la energía en esta parte del sistema nacional a través de una red de transmisión. El suministro actual de energía representa pérdidas en la línea de transmisión, y al mismo tiempo, el abastecimiento de energía es inestable por no haber una fuente alternativa y/o una línea de transmisión alternativa. Por otro lado, considerando la elevación de esta región, la generación térmica no es adecuada y tampoco existen las fuentes hidráulicas adecuadas en esta zona. Ante esta situación, se ha realizado la perforación de seis pozos geotérmicos a partir de la segunda mitad de los años 1980s y hasta la primera mitad de los años 1990s y se ha confirmado la existencia de temperaturas de más de 250 °C. El proyecto geotérmico de Laguna Colorada, de un potencial geotérmico estimado de 100 MW, se considera como un proyecto prioritario no solamente para esta región sino para todo el sector eléctrico del país. En este contexto, respondiendo a la solicitud del gobierno de Bolivia, el gobierno Japonés decidió ejecutar un estudio de factibilidad a través de JETRO, posteriormente, en Julio de 2009, JICA decidió llevar a cabo estudios adicionales basados en los resultados previos.

En respuesta a esta solicitud, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) decidió llevar a cabo el estudio preparatorio para el desarrollo geotérmico de Laguna Colorada, con base en una revisión del estudio de factibilidad anterior y un estudio de impacto ambiental, lo anterior para preparar el proyecto relacionado con la construcción de la planta geotérmica en Sol de Mañana, el cual sería financiado con recursos del préstamo.

Por otro lado, a través del estudio preparatorio de JICA, se encontró que para implementar el proyecto, se requeriría previamente que la Empresa Nacional de Electricidad (ENDE) obtenga datos meteorológicos confiables para el diseño detallado de la planta y una base de datos de línea base de monitoreo ambiental que requeriría la apertura de los pozos existentes para obtener información que solo se podría lograr con los pozos en producción. De realizarse estas actividades, se aprovecharía la ocasión para hacer mediciones de pruebas de producción de los pozos existentes, lo que a su vez serviría para complementar la base de datos, lo anterior debido a que algunos detalles de esos datos iniciales se han perdido.

Ante esta situación, y ya que el gobierno boliviano no cuenta con la tecnología suficiente para realizar este tipo de desarrollos energéticos, se solicitó una cooperación técnica al gobierno de Japón para

llevarlos a cabo y es precisamente el origen del presente proyecto. Con base en esta solicitud y también con el objetivo de acelerar la realización del proyecto bajo un préstamo AOD y a la vez reforzar la capacidad institucional de ENDE como la entidad ejecutora del proyecto, se ejecutó el presente proyecto en manera conjunta con ENDE. Este proyecto es preparatorio al proyecto bajo el préstamo AOD y con él se midieron las características de producción de vapor y gases no condensables de los pozos existentes y se adquirieron datos de línea base de agua superficial y atmósfera para la evaluación de impacto ambiental, todo en conjunto con el personal designado por ENDE.

1.2 Resumen del proyecto

(1)Objetivos del proyecto: Contar con mediciones de pozos geotérmicos en producción para hacer evaluaciones ambientales y a la vez fortalecer la capacidad de ENDE en la ejecución de las pruebas de producción de pozos y en el monitoreo ambiental. Esta capacidad técnica será requerida en el proyecto de la construcción de la planta geotérmica de Laguna Colorada y también durante la explotación del yacimiento.

(2)Entidad Ejecutora: Ministerio de Hidrocarburos y Energía, Empresa Nacional de Electricidad (ENDE)

(3)Periodo de Implementación: Marzo 10, 2011 ~ Agosto 31, 2013

(4)Resultados esperados del proyecto

- ① Fortalecimiento de la capacidad de ENDE en ejecución de pruebas de producción de pozos geotérmicos
- ② Fortalecimiento de la capacidad de ENDE en ejecución del monitoreo ambiental durante la prueba de producción de pozos geotérmicos
- ③ Fortalecimiento de la capacidad de supervisión, así como en los conocimientos correspondientes para el Ministerio de Hidrocarburos y Energía en las actividades relacionadas al desarrollo geotérmico, así como en la perforación de pozos en la fase preparatoria del proyecto

(4) Indicadores de resultados del proyecto

Resultado 1	La capacidad de ENDE en estudios de pozo será mejorada.
Indicador	Manual para pruebas de descarga de largo plazo es desarrollado.
Actividad 1	1-1 Obtención e instalación de equipos para estudios de pozo (registro de pozo, prueba de descarga). 1-2 Desarrollo de manual para prueba de descarga de largo plazo 1-3 Prueba de descarga de largo plazo en pozos existentes. 1-4 Análisis de datos y documentación para prueba de descarga de largo plazo 1-5 Reevaluación de reservorio.

Resultado 2	La capacidad de ENDE en monitoreo y evaluación medioambiental será mejorada.
Indicador	Manual para monitoreo y evaluación medioambiental es desarrollado.
Actividad 2	2-1 Obtención e instalación de equipos para monitoreo y evaluación medioambiental 2-2 Desarrollo de manual para monitoreo y evaluación medioambiental 2-3 Monitoreo del medioambiental en los alrededores del sitio del proyecto y monitoreo del nivel de agua. 2-4 Análisis de datos y documentación para monitoreo y evaluación medioambiental 2-5 Revisión de los resultados de evaluación de los datos recolectados del Sulfuro de Hidrogeno.

Resultado 3	La capacidad de MHE y ENDE en desarrollo de recursos geotérmicos es mejorado
Indicador	Profundidad de conocimiento para desarrollo de recursos geotérmicos.
Actividad 3	3-1 Asistencia en la confirmación de mercado interno e internacional de perforación profunda. 3-2 Asistencia en trabajos preparatorios requeridos antes de la elaboración del documento de licitación para perforación. 3-3 Fortalecer el entendimiento del MHE y ENDE en roles, responsabilidades y trabajos.

Resultado 4	La capacidad de MHE y ENDE en procesos de construcción de plantas geotérmicos es mejorado
Indicador	Profundidad en los conocimiento acerca de construcción de plantas geotérmicos
Actividad 4	4-1 Fortalecer el conocimiento de MHE y ENDE en roles, responsabilidad y trabajos de la entidad cabeza de sector y de la entidad ejecutora del Proyecto durante la etapa de construcción de planta. 4-2 Asistencia en trabajos preparatorios requeridos para la elaboración del documento de licitación de la planta.

1.3 Actividades y Resultados

Las tablas siguientes muestran las actividades realizadas para lograr los objetivos del proyecto y sus resultados.

Tabla 1-1 Actividad 1-1 y sus resultados

Actividad 1	Contenido de actividad y su resultado
1-1 Apoyo para la adquisición e instalación de los equipos para la prueba de producción	<p>【Equipos adquiridos por el consultor】 < Trabajo realizado > Determinación de las especificaciones de los equipos relacionados al monitoreo ambiental. Adquisición de los equipos de acuerdo al lineamiento de adquisición de JICA (tres cotizaciones competitivas). Apoyo para transporte e instalación y operación de los equipos. < Resultado > Apoyo adecuadamente realizado para la adquisición, transporte, instalación y operación de los equipos para el monitoreo ambiental. Casi todos los equipos funcionaron tal y como se había planeado.</p> <p>【Equipos adquiridos por JICA】 < Trabajo realizado > Determinación de las especificaciones de los equipos de acuerdo al plan de ejecución de la prueba de producción de los pozos. Apoyo para la elaboración de los documentos de licitación hecha por JICA. Apoyo en la negociación del contrato y los trabajos de montaje, así como en la inspección en la fábrica y en el momento de entrega. Supervisión en los trabajos de instalación. < Resultado > Todos los equipos fueron adquiridos de acuerdo a las especificaciones e instalados de acuerdo al programa. Los equipos funcionaron de acuerdo a lo previsto.</p>

Tabla 1-2 Actividad 1-2 y sus resultados

Actividad 1	Contenido de actividad y su resultado
1-2 Ejecución de la prueba de producción a largo plazo	<p>【Prueba de producción de pozos】 < Trabajo realizado > Realización de los registros de PTM (Presión, Temperatura y Molinete) en SM-1, SM-2, SM-3, SM-4 y SM-5 < Resultado > En los pozos SM-2 y SM-5, no se pudo realizar los registros, debido a que no fue posible abrir ni cerrar la válvula principal del pozo, lo anterior debido a la incrustación de bicarbonato de amonio. En los demás pozos, se adquirieron datos de alta calidad. Posteriormente en el pozo SM-2 se eliminó la incrustación y se tomaron registros estáticos y dinámicos dentro del pozo. Los registros dinámicos PTM fueron realizados durante la prueba de producción de cada pozo, bajo las siguiente condiciones SM-1 : prueba de pozo con orificios de diámetro de 2", 4", 6" y 10" SM-3 : prueba de pozo con orificios de diámetro de 2", 4", 6" y 10" SM-2 : prueba de pozo con orificio de diámetro de 2", 4", 6" y 10" SM-4 : durante prueba del pozo SM-3 con diámetro de orificio de 2", 4", 6" y Se realizaron los registros (incluyendo registros estáticos) en todos los pozos. Con excepción del pozo SM-4, los registros se hicieron por medio del lubricador. Se perdió uno de los equipos de registros PTM en la prueba de producción del pozo SM-2, lo anterior debido a la ruptura del cable para</p>

	<p>colgar las sondas.</p> <p>【Prueba de producción de pozos】</p> <p>< Trabajo realizado ></p> <p>Realización de prueba de producción de pozos SM-1 y SM-3. Reinyección de salmuera producida en el pozo SM-4.</p> <p>< Resultado ></p> <p>En los pozos SM-2 y SM-5, la válvula principal del pozo 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. Se analizó la composición química de la incrustación en Japón y se elaboró un plan para su remoción en el pozo SM-2. La incrustación se eliminó exitosamente de acuerdo al plan y el pozo logro entrar en producción.</p> <p>Los pozos SM-1 y SM-2 tuvieron las características necesarias para poder fluir con solo la apertura de válvula principal. El pozo SM-3 necesitó de aire comprimido para poder fluir. En los pozos SM-1, SM-3 y SM-2, se realizaron las pruebas de producción con diámetros de orificio de 2", 4", 6" y 10". Se midieron automáticamente la presión de cabezal del pozo, la temperatura y la presión de la línea de flujo, la diferencia de presión a ambos lados del orificio para medición de caudal dentro de la tubería y la presión de labio. El caudal de salmuera separada fue medido manualmente. El caudal de flujos en dos fases se midió usando el método de trazadores (TFT). Se tomaron muestras de gas, salmuera y agua condensada para un análisis químico posterior.</p> <p>Muestras de gas y salmuera Se tomaron durante las pruebas de producción con el diámetro de orificio de 2", 4", 6"y 10"</p> <p>Muestras de agua condensada Se tomaron durante las pruebas de producción con el diámetro de orificio de 10"</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 1-3 Actividad 1-3 y sus resultados

Actividad 1	Contenido de actividad y su resultado etc.
<p>1-3 Análisis de los datos obtenidos y preparación del informe correspondiente</p>	<p>【Prueba de producción de pozos】</p> <p>< Trabajo realizado ></p> <p>Realización de la prueba de producción de los pozos SM-1, SM-3 y SM-2.</p> <p>Análisis de los datos obtenidos y preparación del informe.</p> <p>< Resultado ></p> <p>Se realizó el análisis de los datos de prueba de producción de los pozos SM-1, SM-3 y SM-2 y se elaboraron los informes correspondientes. Una parte de los informes está reflejada en el Manual de prueba de producción.</p> <p>【Análisis Químico】</p> <p>< Trabajo realizado ></p> <p>Realización de la prueba de producción de los pozos y toma de muestras en SM-1, SM-3 y SM-2. Análisis de muestras en el laboratorio de Estados Unidos y elaboración del informe.</p> <p>< Resultado ></p> <p>El resultado del análisis de datos de las pruebas de producción de los</p>

	<p>pozos SM-1, SM-3 y SM-2 fue utilizado como parámetros en la simulación del yacimiento y en la simulación de difusión de H₂S. Al mismo tiempo, el resultado del análisis de datos fue utilizado también en el análisis de los resultados de la prueba de pozos ejecutada en el pasado y en el análisis del Modelo existente del yacimiento.</p> <p>【Simulación del yacimiento geotérmico】</p> <p><Trabajo realizado></p> <ul style="list-style-type: none">• Análisis de los datos de los registros en los pozos SM-1, SM-3 y SM-2 y elaboración de perfiles de temperatura y presión de cada pozo.• Análisis de datos de prueba de producción en los pozos SM-1, SM-3 y SM-2, con el fin de entender las características de producción de cada pozo.• Análisis de las características de producción de cada pozo y determinación de la temperatura y la presión de la zona de alimentación del yacimiento, sus condiciones y su permeabilidad.• Revisión de las mallas utilizadas para el modelo numérico preparado anteriormente y elaboración del nuevo modelo numérico con mayor número de bloques.• Calibración del modelo numérico, usando los datos de los registros y de las pruebas de producción en SM-1, SM-3 y SM-2 como los objetivos de ajuste.• Evaluación del yacimiento geotérmico en Sol de Manana con base en el resultado de la simulación, utilizando la herramienta de apoyo a la creación de datos. <p><Resultado></p> <ul style="list-style-type: none">• De acuerdo al resultado del análisis de los datos obtenidos en prueba de producción, se aclaró que SM-1, SM-3 y SM-2 tienen muy alta permeabilidad• Se elaboró el modelo numérico calibrado para reproducir los datos de los registros y de las pruebas de producción, los cuales fueron obtenidos durante el presente estudio.• Con base en el resultado de la simulación de la proyección en el futuro, se estimó el número de los pozos requerido para el desarrollo geotérmico de 100 MW. Se confirmó el resultado de evaluación de los recursos geotérmicos realizado en el año 2007.• De acuerdo al resultado de la simulación de la proyección en el futuro, con base en los cuatro escenarios de desarrollo, la zona alrededor de SM-4 tiene una permeabilidad alta. Sin embargo, para mantener la presión del yacimiento, se aclaró que es más adecuado tener la zona de reinyección en la parte sur de la zona de producción.
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 1-4 Actividad 1-4 y su resultado

Actividad 1	Contenido de actividad y su resultado
1-4 Creación del manual de prueba de producción a largo plazo	<p>【Borrador del manual】 < Trabajo realizado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Debido a los cambios ocurridos en el cronograma de implementación de prueba de producción, la presentación del borrador del manual de prueba de producción a largo plazo fue realizada durante la prueba de producción del pozo SM-1 <p>< Resultado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • La creación del manual fue útil ya que el personal de ENDE lo utilizaron para las actividades de las pruebas de producción. <p>【Versión final del manual】 < Trabajo realizado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Presentación de la versión final del manual de prueba de producción a largo plazo después de la culminación de pruebas. <p>< Resultado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • El manual podrá servir como una referencia muy útil en la planeación y las actividades de pruebas de producción en Sol de Mañana en el futuro.

Tabla 1-5 Actividad 2-1 y su resultado

Actividad 2	Contenido de actividad y su resultado
2-1 Adquisición e instalación de los equipos meteorológicos	<p>【Adquisición】 < Trabajo realizado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinación de las especificaciones de los equipos meteorológicos de acuerdo a las condiciones del clima y de mediciones en el campo. Adquisición de los equipos a través de tres diferentes cotizaciones competitivas. Los equipos adquiridos fueron llevados por los expertos japoneses en su primera misión. <p>< Resultado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Los equipos adquiridos fueron adecuados para tomar datos meteorológicos en las condiciones difíciles del sitio (muy alejado y extremadamente frío). Debido al hecho de que no se pudo llevar la batería del equipo a bordo del avión, fue necesario adquirirla de nuevo en Bolivia. <p>【Instalación】 < Trabajo realizado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • La programación del data logging fue realizada por un experto en la agencia local de la compañía que vendió el instrumento. Se realizó la compra local de etanol y de aceite. Se realizó la instalación satisfactoria del equipo en la estación meteorológica en Sol de Mañana. • Sin embargo, para la instalación satisfactoria del medidor de precipitación, fueron necesarios aproximadamente seis meses, lo anterior debido a algunos errores menores ocurridos en el momento de la instalación. <p>< Resultado ></p>

	<ul style="list-style-type: none"> • En un ambiente con poca precipitación, se han tomado los datos de precipitación durante 22 meses consecutivos, lo anterior después de la instalación satisfactoria del medidor. Por lo tanto, la demora de la instalación del medidor fue una limitante. Debido a la localización del sitio (22 grados de latitud sur) el movimiento de la sombra de sur a norte provocó sombra en ciertas estaciones del año en el medidor de radiación solar y hubo necesidad de ajustar su ángulo de instalación.
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 1-6 Actividad 2-2 y su resultado

Actividad 2	Contenido de actividad y su resultado
<p>2-2 Monitoreo de fumarolas y del nivel de agua alrededor del área de prueba de producción</p>	<p>【Temperatura a un metro de profundidad en la zona de las fumarolas】 < Trabajo realizado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Perforación de agujeros de pequeño diámetro, con un metro de profundidad, en más de 20 lugares alrededor del área de las fumarolas. Inserción del tubo plástico y medición de temperaturas durante un periodo adecuado <p>< Resultado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Medición de la evolución de la temperatura a una profundidad de un metro, en el área de las fumarolas, así como la obtención de los datos de línea base durante la operación de la planta en el futuro. Debido al hecho de que la ubicación de las fumarolas se está moviendo a un ritmo más rápido que el esperado y a que las temperaturas están muy altas, se presentó el caso de que algunos de los agujeros se perdieron y consecuentemente se perdieron esos puntos de observación. Se debe continuar con este monitoreo en el futuro. <p>【Toma de muestras de gas en las fumarolas】 < Trabajo realizado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestras de gas, tres veces durante las pruebas de producción de los pozos, en cinco lugares alrededor del área de las fumarolas. Análisis químico de muestras en el laboratorio de Estados Unidos. <p>< Resultado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestras de gas, así como los datos correspondientes a la línea base durante la operación de la planta en el futuro. De acuerdo al resultado del análisis, se debe mejorar la metodología de la toma de muestras, las cuales podrían contener aire, lo cual no es correcto. <p>【Monitoreo a través de grabación fotográfica de fumarolas】 < Trabajo realizado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Selección de algunas fumarolas y su grabación fotográfica periódica para observar los cambios. <p>< Resultado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Grabación fotográfica de algunas fumarolas como datos correspondientes a la línea base, para usarse durante la operación de la planta en el futuro. Debido al hecho de que las ubicaciones de las fumarolas están desplazándose a un ritmo más rápido de lo esperado, se sustituyó la pérdida de ubicación de los agujeros con la grabación fotográfica de ubicaciones determinadas en toda el área de las fumarolas. <p>【Monitoreo de temperatura, pH, conductividad eléctrica y salinidad de lagos】 < Trabajo realizado ></p> <p>Selección de puntos de toma de muestra en lagos alrededor de la posible</p>

	<p>ubicación de la planta. Medición periódica de la temperatura, pH, conductividad eléctrica y salinidad de agua en ubicaciones seleccionadas.</p> <p><Resultado></p> <p>Toma de datos de temperatura, pH, conductividad eléctrica y salinidad en lagos alrededor de la ubicación de la posible planta, para ser utilizados como datos de línea base durante la operación de la planta en el futuro. Ya que éstos son los datos útiles, los cuales incluso son utilizados como parte de los indicadores del monitoreo ambiental, se debe continuar con su monitoreo.</p> <p>【Análisis químico de muestras de agua de lagos】</p> <p><Trabajo realizado></p> <p>Selección de cinco lugares para la toma de muestras en lagunas alrededor de la ubicación de la posible planta. Toma de muestras, tres veces durante las pruebas de producción y su correspondiente análisis químico.</p> <p><Resultado ></p> <p>Toma de muestras de agua en lagos alrededor de la ubicación de la posible planta, para ser utilizados como parte de los datos de línea base durante la operación de la planta en el futuro. El análisis de muestras se realizó en el laboratorio de Universidad de San Simón en Cochabamba. Ya que algún personal de ENDE se graduó de esta universidad, el análisis sirvió como parte del fortalecimiento de la capacidad de ambas instituciones.</p> <p>【Nivel de concentración atmosférica de H₂S en el área alrededor de Sol de Mañana】</p> <p><Trabajo realizado></p> <p>Medición de concentración atmosférica de H₂S durante 24 horas en algunos puntos seleccionados alrededor del campo geotérmico de Sol de Mañana durante la prueba de producción de cada pozo.</p> <p><Resultado></p> <p>Medición de concentración atmosférica de H₂S durante 24 horas en algunos puntos seleccionados alrededor del campo geotérmico de Sol de Mañana, como parte de los datos de línea base, los cuales serán utilizados también durante la operación de la planta en el futuro. En la mayoría de los puntos observados, la concentración de H₂S se encuentra a un nivel de menos de 10 ppb. Se evaluó este resultado en conjunto con el resultado de la simulación de impacto atmosférico debido a las emisiones de H₂S desde la posible ubicación de la torre de enfriamiento de la planta.</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 1-7 Actividad 2-3 y su resultado

Actividad 2	Contenido de actividad y su resultado
<p>2-3 Adquisición, compilación, análisis de datos y preparación del informe</p>	<p>【Adquisición, compilación, análisis de datos de la temperatura alrededor de las fumarolas a una profundidad de un metro y la elaboración del informe】</p> <p><Trabajo realizado></p> <p>Después de que los expertos seleccionaron los puntos de medición y que enseñaron la metodología relacionada a la toma de datos, los personales de ENDE realizaron la toma de datos con el mínimo soporte de los expertos. El personal de ENDE también contribuyó y colaboró mucho en la compilación y en el análisis de los datos.</p> <p><Resultado></p>

	<p>Toma de datos de la evolución de la temperatura alrededor de fumarolas a una profundidad de un metro, como parte de los datos correspondientes a la línea base durante la operación de la planta en el futuro. Se observaron algunos datos anormales, sin embargo, se debe continuar con el monitoreo para poderlos utilizar en el futuro como datos de línea base.</p> <p>【Adquisición, compilación y análisis de datos de gases de fumarolas y elaboración del informe】</p> <p><Trabajo realizado></p> <p>Se obtuvo el resultado del análisis químico de 14 muestras.</p> <p><Resultado></p> <p>Se obtuvo menor cantidad de aire mezclado en las muestras analizadas. Sin embargo, más del 90 % de la mezcla es CO₂, y por lo tanto, se puede calificar como un resultado estable y útil para los datos de línea base.</p> <p>【Adquisición, compilación y análisis de datos de grabación fotográfica de las fumarolas y la elaboración del informe】</p> <p><Trabajo realizado></p> <p>Originalmente se intentó la grabación fotográfica de la evolución de las fumarolas individualmente. Sin embargo, las ubicaciones las fumarolas cambiaban tan rápido que se substituyó esta práctica con grabación de toda el área de fumarolas.</p> <p><Resultado></p> <p>No se reconoció ningún cambio por medio de las fotografías grabadas de las fumarolas.</p> <p>【Adquisición, compilación y análisis de la temperatura, pH, conductividad eléctrica y salinidad de los lagos y la elaboración del informe】</p> <p><Trabajo realizado></p> <p>Elaboración de la gráfica que muestra cronológicamente los datos de 13 muestras tomadas durante dos años.</p> <p><Resultado></p> <p>Los datos obtenidos se consideran útiles como parte de los datos correspondientes a la línea base durante la operación de la planta en el futuro. Se debe continuar con el monitoreo.</p> <p>【Adquisición, compilación y análisis de los datos de muestras químicas de agua de lagos y la elaboración del informe】</p> <p><Trabajo realizado></p> <p>El resultado de cinco muestras, tomadas tres veces en lagunas alrededor de la posible ubicación de planta, muestra un resultado estable de la composición química de muestras.</p> <p><Resultado></p> <p>El resultado de la toma de muestras en tres ocasiones en cada lugar, representa un resultado estable y útil, como parte de los datos correspondientes a la línea base durante la operación de la planta en el futuro. Además, el costo de los análisis es relativamente menor. Se debe continuar con este monitoreo en el futuro.</p> <p>【Adquisición, compilación y análisis de los datos del nivel de concentración atmosférica de H₂S en el área alrededor de Sol de Mañana y la elaboración del informe】</p> <p><Trabajo realizado></p> <p>Medición de la concentración atmosférica de H₂S durante 24 horas en algunos puntos seleccionados y el análisis de los datos.</p> <p><Resultado></p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>En la mayoría de los puntos observados, la concentración de H₂S se encuentra a menos de 10 ppb. Estos datos fueron muy importantes para el análisis del resultado de la simulación de impacto atmosférico, debido a emisiones de H₂S desde la torre de enfriamiento de la posible planta.</p> <p>【Elaboración del informe de evaluación debido a la simulación del impacto atmosférico debido a emisiones de H₂S desde la torre de enfriamiento】</p> <p>< Trabajo realizado ></p> <p>Evaluación por medio de la simulación del impacto atmosférico debido a emisiones de H₂S desde la posible ubicación de la torre de enfriamiento de la futura planta, utilizando los parámetros obtenidos por los datos de H₂S, contenidos en los vapores geotérmicos durante las pruebas de producción, los datos meteorológicos y los mapas alrededor del sitio del proyecto.</p> <p>< Resultado ></p> <p>La concentración de H₂S en estado natural se encuentra a menos de 10 ppb. Estos fueron datos muy importantes en el análisis de los resultados de la simulación del impacto atmosférico debido a emisiones de H₂S desde la ubicación de la posible torre de enfriamiento de la planta.</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 1-8 Actividad 2- 4 y su resultado

Actividad 2	Contenido de actividad y su resultado
2-4 Creación del manual de monitoreo ambiental	<p>【Borrador del manual】</p> <p>< Trabajo realizado ></p> <p>Elaboración del borrador del manual de monitoreo ambiental de acuerdo al lineamiento de EIA durante la prueba de producción.</p> <p>< Resultado ></p> <p>La creación del manual fue útil ya que el personal de ENDE lo utilizó durante las actividades de las pruebas de producción.</p> <p>【Versión final del manual】</p> <p>< Trabajo realizado ></p> <p>Elaboración de la versión final del manual de monitoreo ambiental para la realización de las pruebas de producción.</p> <p>< Resultado ></p> <p>El manual podrá servir como una referencia muy útil en la planeación y para las actividades de las pruebas de producción en Sol de Mañana en el futuro.</p>

Tabla 1-9 Actividad 3-1 y su resultado

Actividad 3	Contenido de actividad y su resultado
3-1 Apoyo para confirmación de los costos de perforación en los mercados nacional e internacional	<p>【Costo de perforación】 < Trabajo realizado > Apoyo en la estimación de los costos de perforaciones geotérmicas de acuerdo a la solicitud del Ministerio de Hidrocarburos y Energía de Bolivia.</p> <p>< Resultado ></p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigación de la situación de los perforadores locales relacionados con la perforación del gas natural, en comparación con la posibilidad de que la perforación de pozos geotérmicos sea contratada por una compañía extranjera. • Mientras el Ministerio de Hidrocarburos y Energía no tenga suficientes conocimientos y personal entrenado en desarrollos geotérmicos, se tendrán varias limitantes en la transferencia de la tecnología.

Tabla 1-10 Actividad 3-2 y su resultado

Actividad 3	Contenido de actividad y su resultado
3-2 Apoyo para actividades preparatorias para la adquisición de servicios de perforación. Apoyo para elaboración de un documento de licitación de los servicios de perforación	<p>【Documento de licitación】 < Trabajo realizado > Apoyo al Ministerio de Hidrocarburos y Energía para las actividades preparatorias para la adquisición de servicios de perforación de pozos geotérmicos</p> <p>< Resultado ></p> <p>Mientras el Ministerio de Hidrocarburos y Energía no tenga suficiente conocimiento y personal sobre desarrollos geotérmicos, se tendrán varias limitantes en la transferencia de tecnología para las actividades preparatorias de servicios de perforación y otras áreas de interés geotérmico.</p>

Tabla 1-11 Actividad 3-3 y su resultado

Actividad 3	Contenido de actividad y su resultado
3-3 Apoyo para conocer los trabajos de la Unidad Ejecutora (rol, responsabilidades, actividades de la Unidad Ejecutora en la etapa de perforación)	<p>【Determinación de responsabilidades de la Unidad Ejecutora】 < Trabajo realizado > Apoyo al Ministerio de Hidrocarburos y Energía para el establecimiento del régimen de implementación de desarrollo geotérmico.</p> <p>< Resultado ></p> <p>Se encontraron varias limitantes en la eficiencia de la transferencia de tecnología, lo anterior debido principalmente a que no existe de manera clara una sección responsable del desarrollo geotérmico dentro del Ministerio de Hidrocarburos y Energía.</p>

2. Cronograma de ejecución y aplicación

2.1 Cronograma de ejecución

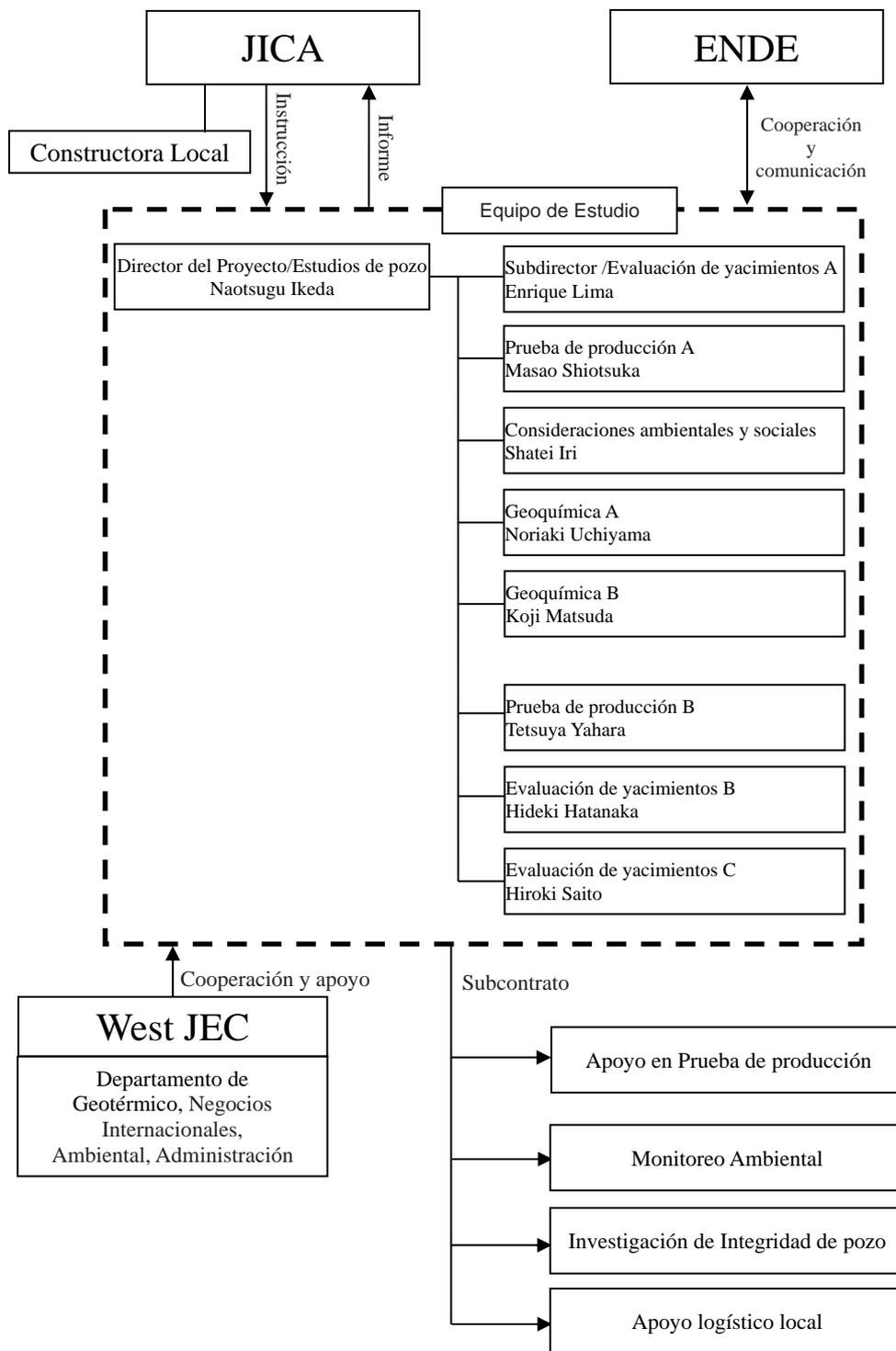


Figura 2-1 Organigrama para la ejecución del proyecto

Tabla 2-3 Cronograma de utilización de recursos humanos(2/2)

Plan de Personals				2013										Hombre/Mes									
Responsabilidades	Nombre	Empresa	Posición	4	5	6	7	8	9	10	2010 (FY)		2011 (FY)		2012 (FY)		2013 (FY)		Total				
				Bolivia	Japón	Bolivia	Japón	Bolivia	Japón	Bolivia	Japón	Bolivia	Japón										
Actividad en Bolivia	Director de Proyecto/ Estudios de pozo	Naotsugu Ikeda	West Japan Engineering Consultants Inc.	1	30	3		7	1		0.00		1.10		4.53		1.37		7.00				
	Subdirector /Evaluación de yacimientos A	Enrique Lima	West Japan Engineering Consultants Inc.	1				7	1		0.00		1.17		0.73		0.27		2.17				
	Prueba de producción A	Masao Shiotsuka	West Japan Engineering Consultants Inc.	3	30	3					0.00		0.00		1.10		1.10		2.20				
	Consideraciones ambientales y Geoquímica A	Shatei Iri	West Japan Engineering Consultants Inc.	3							0.00		0.67		0.00		0.00		0.67				
	Geoquímica B	Noriaki Uchiyama	West Japan Engineering Consultants Inc.	3							0.00		0.67		0.00		0.00		0.67				
	Construcción de planta	Koji Matsuda	West Japan Engineering Consultants Inc.	2				7	1		0.00		0.00		0.00		0.27		0.27				
	Evaluación	Erwin Urquiola	West Japan Engineering Consultants Inc.	2							0.00		0.00		1.30		0.00		1.30				
	Subjefe de capacitación y administración	Paul Moya	West Japan Engineering Consultants Inc.	2							0.00		0.00		2.77		0.00		2.77				
	Jefe de capacitación y administración	Enrique Lima	West Japan Engineering Consultants Inc.	5							0.00		0.00		0.00		0.00		0.00				
		Paul Moya	West Japan Engineering Consultants Inc.	5							0.00		0.00		0.00		0.00		0.00				
				Total de actividades en Bolivia										0.00		3.61		10.43		3.01		17.05	
Actividad en Japón	Director de Proyecto/Estudios de	Naotsugu Ikeda	West Japan Engineering Consultants Inc.	1				2	4	5	4		0.23		1.30		0.17		0.50		2.20		
	Subdirector /Evaluación de yacimientos A	Enrique Lima	West Japan Engineering Consultants Inc.	1	9	5	3	3	2	4	2		0.13		0.47		0.23		0.93		1.77		
	Prueba de producción B	Tetsuya Yahara		2				5	5	7			0.50		0.17		0.30		0.57		1.53		
	Consideraciones ambientales y Geoquímica A	Shatei Iri/ Yasushi Iseri		3	4	4	5	4	9	10			0.27		0.53		0.40		1.20		2.40		
	Geoquímica B	Noriaki Uchiyama		3				4	4	4			0.17		0.43		0.00		0.27		0.87		
	Evaluación de yacimientos B	Koji Matsuda		2				2	3	3			0.00		0.00		0.00		0.17		0.17		
	Evaluación de yacimientos C	Hideki Hatanaka		3	15	5	5	5	5	5			0.27		0.00		1.53		1.33		3.13		
	Construcción de planta	Hiroki Saito		2	7	10	10	9	8	4			0.27		0.37		1.60		1.60		3.83		
	Evaluación	Erwin Urquiola	West Japan Engineering Consultants Inc.	2				14		4			0.00		0.00		0.80		0.60		1.40		
	Subjefe de capacitación y administración	Paul Moya	West Japan Engineering Consultants Inc.	2									0.00		0.00		0.33		0.00		0.33		
Jefe de capacitación y administración	Enrique Lima	West Japan Engineering Consultants Inc.	5									0.00		0.00		0.13		0.00		0.13			
	Paul Moya	West Japan Engineering Consultants Inc.	5									0.00		0.00		0.00		0.00		0.00			
				Total de actividades en Japón										1.84		3.27		5.49		7.17		17.76	
Informe	Periodo de presentación de informe							3-2	4	5	6												
	Actividades en Japón																						
	Total Hombre-mes																						
Etapa y Suma											0.00		3.61		10.43		3.01		17.05				
											1.84		3.27		5.49		7.17		17.76				

Leyenda  Actividades en Bolivia
 Actividades en Japón

①:Plan de trabajo ②-1 : Manual (Borrador) de Monitoreo Medio Ambiental ②-2 : Manual (Final) de Monitoreo Medio Ambiental ③-1 : Manual (Borrador) de la prueba de producción a largo plazo ③-2 : Manual (Final) de la prueba de producción a largo plazo ④Informe de la simulación de H2S Difusión/Simulación de Reservorios ⑤&⑥ Informe Final

3. Aportes del Japón

Lo siguiente es el aporte del Japón

3.1 Aportes del Japón

3.1.1 Antecedente del envío de expertos

Varios expertos fueron enviados desde Japón para proporcionar la transferencia de la tecnología y realizar seminarios sobre los estudios de recursos geotérmicos (Estudios regionales: geología, geoquímica, geofísica; Estudios de detalle: geología, geoquímica, geofísica-MT) y estudios de desarrollo geotérmico (modelado, evaluación de recursos, perforación y estudios en pozos). Los expertos por especialidad se muestran en la Tabla 3.1-1

Tabla 3-1 Lista de expertos

Nombre	Responsabilidades	Compañía
Naotsugu Ikeda	Gerente de Proyecto/Estudios de pozo	West Japan Engineering Consultants Inc.
Enrique Lima	Subgerente /Evaluación de yacimientos A	West Japan Engineering Consultants Inc.
Masao Shiotsuka	Prueba de producción A	West Japan Engineering Consultants Inc.
Tetsuya Yahara	Prueba de producción B	West Japan Engineering Consultants Inc.
Shatei Iri	Consideraciones ambientales y sociales	West Japan Engineering Consultants Inc.
Yasushi Iseri	Consideraciones ambientales y sociales	West Japan Engineering Consultants Inc.
Noriaki Uchiyama	Geoquímica A	West Japan Engineering Consultants Inc.
Koji Matsuda	Geoquímica B	West Japan Engineering Consultants Inc.
Hideki Hatanaka	Evaluación de yacimientos B	West Japan Engineering Consultants Inc.
Hiroki Saito	Evaluación de yacimientos C	West Japan Engineering Consultants Inc.
Paul Moya	Perforación	West Japan Engineering Consultants Inc.
Erwin Urquiola	Construcción de planta	West Japan Engineering Consultants Inc.
Enrique Lima	Subjefe de capacitación y administración	West Japan Engineering Consultants Inc.
Paul Moya	Jefe de capacitación y administración	West Japan Engineering Consultants Inc.

Tabla 3-2 Lista de contratista

Nombre	Responsabilidades	Compañía
Héctor Gutiérrez	Evaluación de yacimientos	subcontrato (GHS)
Raúl Sánchez	Prueba de producción	subcontrato (GHS)
Ángel Sánchez	Prueba de producción	subcontrato (GHS)
Marco Torres	Prueba de producción	subcontrato (GHS)
Enrique Tello	Geoquímica	subcontrato (GHS)
Carlos Peña	Integridad de pozo	subcontrato GHS)
David Gómez	Geoquímica	subcontrato (GHS)
Jorge Medina	Integridad de pozo	subcontrato (GHS)
Moisés Medina	Integridad de pozo	subcontrato (GHS)
Pablo López	Ambiental	subcontrato (URS)

Los periodos de trabajo de cada uno de estos expertos se muestran en la Tabla 3-2

Tabla 3-3 Asignación de expertos

Nombre	Responsabilidades	Periodo de trabajo
Naotsugu Ikeda	Director de Proyecto/Estudios de pozo	4 de Abril ~ 5 de Junio 2011
Enrique Lima	Subdirector /Evaluación de yacimientos A	4 de Mayo ~ 23 de Mayo 2011
Shatei Iri	Consideraciones ambientales y sociales	4 de Mayo ~ 23 de Mayo 2011
Noriaki Uchiyama	Geoquímica A	4 de Mayo ~ 23 de Mayo 2011
Enrique Lima	Subdirector /Evaluación de yacimientos A	10 de Septiembre ~ 16 de Septiembre 2011
Enrique Lima	Subdirector /Evaluación de yacimientos A	14 de Noviembre ~ 21 de Noviembre 2011
Erwin Urquiola	Construcción de planta	16 de Mayo ~ 23 de Junio 2012
Paul Moya	Perforación	16 de Mayo ~ 30 de Mayo 2012
Paul Moya	Perforación	25 de Junio ~ 31 de Agosto 2012
Naotsugu Ikeda	Director de Proyecto/Estudios de pozo	11 de Julio ~ 22 de Julio 2012
Naotsugu Ikeda	Director de Proyecto/Estudios de pozo	6 de Noviembre 2012 ~ 16 de Enero 2013
Enrique Lima	Subdirector /Evaluación de yacimientos A	5 de Enero ~ 26 de Enero 2013
Masao Shiotsuka	Prueba de producción A	5 de Enero ~ 6 de Febrero 2013
Naotsugu Ikeda	Director de Proyecto/Estudios de pozo	23 de Enero ~ 12 de Marzo 2013
Naotsugu Ikeda	Gerente de Proyecto/Estudios de pozo	29 de Marzo ~ 3 de Mayo 2013
Masao Shiotsuka	Prueba de producción A	1 de Abril ~ 3 de Mayo 2013
Naotsugu Ikeda	Director de Proyecto/Estudios de pozo	25 de Agosto ~ 1 de Septiembre 2013
Enrique Lima	Subdirector /Evaluación de yacimientos A	25 de Agosto ~ 1 de Septiembre 2013
Koji Matsuda	Geoquímica B	25 de Agosto ~ 1 de Septiembre 2013

3.1.2 Equipos donados a la contraparte boliviana de este proyecto

La relación de equipos donados a la contraparte boliviana se presenta en la Tabla 3-4

Tabla 3-4 Lista de equipos donados (1)

Equipo	Detalle	Moneda	Costo	Año	Nota
Tower and Wire Fence for Meteorological Station	Wire Fence Metalic Tower Cement Foundation for the Base of the Tower and Pluviometer	BOB	421,200.00	2011	
Lip Pressure Equipment and accessories (Connection)	Flange 10" Slip on CL-300 A-105RF Gasket of Spiral 10" ANSI 300 with ring joint Stud bolts A197 B7 UNC 1"-8 x 180mm with 2 nuts Carbon steel pipe 10" Sch40 API 5L, ASTM A-53 GT.B, 12m Carbon steel pipe 18" Sch40 API 5L, ASTM A-53 GT.B, 5.5m Reducer 18"X10" Sch 40 A234 WPB Carbon steel pipe 3" Sch-40, API 5L, ASTM A-53, GR.B 6m	USD	68,430.00	2012	5 units 6units 64 units 4 units 8 units 2 units 13 units
Tubings HDPE (High Density Polyethylene)	10" HDPE PE 100 12m 12" HDPE PE 100 12m 12" HDPE PE 100 4m 10" Flange adapter 12" Flange adapter 10" Slip ON flange A150 12" Slip On Flange A150	USD	435,000.00	2012	175 units 208 units 1 unit 20 units 20 units 20 units 20 units
40 ft. Modified Shipping Container Muffler and accessories	Modified shipping Container Muffler Upper 40' container, Stackable Modified shipping Container Muffler Rear Middle Baffle plate Lower 40'container, stakcable Darin Piping spools Mouting Plates 10" gaskets 12" gaskets 6" gaskets 12" Blind flange 10" blind flange 6" blind flange 6" Butterfly valve James Tube Adapter Rings Tie Wire Seal guide plates Upper unit Strut support and spacer plates Stud and Nut Sets Plated Bolts Plated Washers Plateed Nuts Drain piping spools 48" gaskets Anchor Kit Epoxy, 2-part 48"X20' Expansion spool with Expansion Spool Support Cradle Extrusion seal Inter-container seal channel Seal end plates Additional brine storage tank 20' Modified shipping container				3 units 3 units 17 units 7 units 2 units 3 units 2 units 4 units 6 units 9 units 280 units 72 units 51 units 100 units 5 units 2 units 120 feet 8 units 2 units
Flow Line Piping James-Tube Assemblies and accessories	Flow line piping and James-tube assemblies Cutting saw for gaskets Orifice plates				6 units 4 units
Instrumentation and accessories	Vortex Flow meter Flowmeter packing gland Flowmeter spare Teflon packing Pressure Transmitters DifferentialPressure Transmitter Temperature Transmitter Sealed batteries Solar panel with mount kit High-pressure hoses for transmitters Data logging system				2 units 2 unit 3 units 4 units 5 units
Flow Line Valve and accessories	300#, 10" Wedge gate 150#, 10" Wedge gate 10" gaskets 6" gaskets Stud ant nut sets				3 units 8 units 4 units 120 units
Lap-top Computer	Windows7, 3.2GHz Intel Quad core processor, 64-bit bus, 8GB RAM, 15.6" 1600x900 screen keyboard and mouse 320 GB hard disk				
Tracer Injection Unit for Enthalpy and Mass Flowrate Measurement and accessories	Micromod Tracer Injection unit				
Two-phase Sampling Equipment for Tracer Enthalpy and Mass Flowrate Measurement and Accessories	Sampling separator with valves and fittings Protoble steam condenser Protoble rine Cooler Sampling hose, 25 ft.				2 units 2 units

Tabla 3-5 Lista de equipos donados (2)

Equipo	Detalle	Moneda	Costo	Año	Nota
Handheld Liquid Tracer analyzer and SF6 Gas Tracer	ThermoTrace Handheld Liquid tracer analyzer- Laptop Computer				
Laboratory Equipment	SF6 Gas Tracer				
	High Vacuum Pump				
	pipets				
	Mini regulator				2000units
	Nitrogen regulator				2units
	Oxygen regulator				
	14mL Test tube and caps				
	Tube rack				1000units
	Pipettor tips				2units
	Pipettor tool				2304units
	probe				
	ss Cyl-11 transformer				
	Portable Electric Balance				
	Gas Purifier				2units
	Glass Wool				
	1000ml Bottles				6units
	Gas sample flasks				24units
SF6 Gas Analytical Standards 5ppm in Nitrogen				2units	
SF6 Gas Analytical Standards 10ppm in Nitrogen				2units	
Swage connectors				6units	
Liquid Tracer	ThermoTrace Liquid tracer				60liters
SF6 Gas Tracer	SF6 Gas Tracer and Cylinder				2units
PTS Tool Memory and Accessories	K10 Geothermal PTS Tool Memory				2units
	Memory : 1,400,000 sets sample points				
	Sampling rate: 1 sec				
	Resolution				
	Pressure 0.0003% of FS, Temp. 0.01C				
	Accuracy:				
	pressure +/-0.024% of FS, temperature +/-0.4degC				
	Operating Pressure: 0-5,000psi				
	Operating Temperature: 300degC 6hours				
	OD: 1.75"				
	Length: 68"approx.				
	Spinner				
	OD: 2-1/8" or 1-11/16"				
Sensors: Magnetic reed switch					
Resolution: 1rps					
Data: Flow with directional sensing					
Flow: 85-18,000rpm					
Accessories:					
Impeller PTS 2-1/8" OD 10 pitch and 20 pitch					
Interface and software and accessories	K10 Interface and Software				
	Interface unit, software				
Handheld Tools and accessories	3 types of O-Rings (quantity 10,5, and 10)				
	Bearing Retaining ring				
	Cap Screw				
	Set Screw 8-32x3/16"				
	Set Screw 5-40x3/16"				
	Trans Fluid 210H 1/2 Pint				
	Thread lube Hi-temp.				
	Hex Key set				
	7/16" Nut driver [
	15",12" and 10" adjust wrench				
	Retaining ring installer				
	Crowfoot 1-1/2" 1/2" drive				
	Torque wrench 1/2" drive				
	Metal C-ring				
	K10 Strain/Quartz - Load tester/ depassivator				
	Magnet Carrier and 10 magnets				
	Bearing 0.375 x 0.187 x 0.125 10				
	Magnet Retaining rings 5	USD	#####	2012	
	Shim/ Spacer				
Bushing					
Impeller removal tool					
High temperature tape					
DMM Multimeter					
Carrying Case	Carrying case for K10 Geothermal				2units
Battery Pack and accessories	Battery pack "AA" Single cell, 8-pin,150c				10units
Depth Unit and accessories	K10 Depth unit				
	Operate with K10 "Strain" Quartz" and geothermal tools				
Encoder package and accessories	Accessories:				
	Power supply,USB cable				
Encoder package and accessories	Encoder, adapter and cable				

Tabla 3-6 Lista de equipos donados (3)

Equipo	Detalle	Moneda	Costo	Año	Nota
Lubricator and accessories	High temperature Adjustable 10 to 20Ft. Seamless Lubricator Assembly 2-7/8" OD with Union Rig up Nipple, Bleeder Valves, Stuffing Box with Ground level adjusting assembly Complete Hammer Union with 3" ANSI RTJ Class 900 flange Ring Gasket				3 units
X-Over Flange and accessor	X-Over Flange and Rig Up Adapter 3-1/8" RTJ Class ANSI 900				3 units
Bolts and Nuts 7/8" -9UN	Stub Bolts with Two Nuts 7/8" 9UN x 185mm ASTM A193 Gr. B7M, A194 Gr. 2HM Zinc Plated				24 units
Ring Joint R31	R-31 Ring Joint, 316SUS				3 units
X-Over Joint	X-Over Flange from 10" to 3-1/8" ANSI900				2units
Bolts and Nuts 1-3/8" - 8UN	Stud Bolts with two nuts 1-3/8" 8UN x 280mm ASTM A193 Gr. B7M, A194 Gr. 2HM Zinc. Plated				32 units
Ring Joint R53	R-53 Ring Joint 316SUS				2 units
Skid Mounted Wireline Unit	Prime Mover: 75HP Deutz Turbo Diesel Engine with Battery				
	Electrical Circuit with Electric Starter				
	Pump Mount: Industry Standard C Fasce x SAE B				
	Pump Drive Coupling: Cast Aluminum with Elastomer Element				
	Pump: Mechanical Servo Hydrostatic Sundstrand 2.5 cu. In./rev.				
	Pump Stroking Control: Quadco with Neutral Lock Gate				
	Torque Control: Ventable Cross Port Relief. Sun Composite Block with Vickers Pilot Valve				
	System Gage 3" Diameter 0-5,000 PSI Panel Mounted				
	Drum Brake: Lufkin Mechanical Caliper with Locking Orshon Lever and Custom Rotor				
	Drive Flange: Standard Steel				
	Hydraulic Motor: Ross Series MAB				
	Drive Shaft: 4142 Mechined Steel				
	Shaft Bearing: Dodge Series E 1 11/16" Diameter				
	Final Drive: Chain and Sprocket SAE 60-1				
Measuring Device: PI Meter					
Spooling Carriage: Box Type with Steering Wheel Operation Seat					
Tool Box: 36" x 18" x 20"					
Pulley System and accessor	24" Aluminum Hay Pulley with Chain				
Tool kits for installation of capillary tubing	Capillary tubing tool kit for installing, mounting system				
Connection of pressure transducer	1/2" Carbon Steel Well-O-Let for lip pressure orifice				
	1/2" 316SS Double Nipple for lip and orifice connections				
	1/2" 316SS 90 deg Elbow for lip and orifice connections				
	1/2" 316SS Male Connector for lip and orifice connections				
	1/2" 316SS Ball Valve for lip and orifice connections				
1/4 " 316SS tubing for meter runs 40' each with adapter to 1/2" fitting					
Container	20' container for ocean shipment				
pH meter	FiveGo pH metre FG2		60,348		Environmental monitoring
Electric Conductivity meter	ES-51		123,900		Environmental monitoring
Thermister	SK-1250MCH3α		18,900		Environmental monitoring
Thermocouple	MC-T101 III special version		20,895		Environmental monitoring
Gas detector	XOS-2200		84,000		Environmental monitoring
Precipitation sensor	T-200B(600mm)				Meteorological
Windscreen(auxilliary parts)	470200				Meteorological, Peropheral component of precipitation
Windscreen(stainless steel)	470200				Meteorological, Peropheral component of precipitation
Shield cable for precipitation sensor	15 m long shielded cable				Meteorological, Peropheral component of precipitation
Pedestal	470500 pedestal (1 meter)				Meteorological(stand for precipitation sensor)
Enclosure	ENC-16-SB-TN	JPY		2011	Meteorological(Casing for data logger, battery)
Anemometer and wind valve	Model 05103-L35				Meteorological
Temperature and RH sensor	CS215-L35				Meteorological
Radiation shield	Model 41303-5A				Meteorological
Barometer	CS106				Meteorological
Solar radiation sensor	CS300-LS35 pyranometer				Meteorological
Pyranometer Leveling Base	18356				Meteorological
USB to RS232 converter	17394				Meteorological
Software	PC400/SS				Meteorological
PC connection kit	SC115				Meteorological
Charger/controller	CH100SW regulator				Meteorological
1 x 1 inch nurail	17953				Meteorological
Data logger	CR1000-4M				Meteorological
Solar panel	SP10(10W solar panel)				Meteorological
Battery	BP24				Meteorological
Jerome H2S analyzer	J605		1,526,700		Environmental monitoring

Tabla 3-7 Lista de equipos donados (4)

Equipo	Detalle	Moneda	Costo	Año	Nota
Roller Centralizer	Roller centralizer (Memory)				2 units
1-2/16-12 PIN x 5/8 - 10	1-2/16-12 PIN x 5/8 - 10 API PIN				
1-1/4-8 BOX x 1-3/16 -	1-1/4-8 BOX x 1-3/16 - 12 PIN				
Shroud, lower GO PIN	Shroud, lower GOPIN				
Bullnose roller centraliz	Bullnose roller centralizer				3 units
SK BAR	SKR BAR 1.25 x 4 5/8 - 10 API Solid				
Wireline Unit and Accessories	Trailer type Diesel Drum capacity : 25,000ft of 0.092", 20,000ft of 0.108", 15,000ft of 0.125" Drum shaft with pillow block design bearings at each end Brake assembly single wide brake band, Mechanical brake lever, operator adjustable, at ops area Power Drive assembly : Deutz TD2011LO4i Diesel Power Unit (73.3 HP@2,600rpm) Control Panel, mounting bracket, Hayes hydraulic drive coupling & pump mounting plate, flexible mounting feet Hydraulic assembly: open loop design producing 2,000psi working pressure and 3,000 psi for intermittent duty. Rugged duty pump and motor Trailer : 4WD trailer Material: steel Axle: front and rear 2 axles Suspension : Spring type Brakes: Both Axels: Pull plug, jack stand Tires : 16" Accessories : Weight indicator with 100' hose between dial and local cell Load cell and hose storage pack 15,000ft of 0.092" 316SS wireline Measuring meter: 0.092" with full wrap 8" register wheel and dual pressure wheels Mechanical depth counter Traverse rod steering system with spooling wheel Spare tire 16"				
BOP	Wireline BOP 5,000 psi HX manual wireline valve, 3" ID 5k working pressure Standard Service equipped with rams dressed for 0.072" - 0.125" line Equalizer valve 0.50" NPT Bleed port (Plugged) 4.75" -4 HX type B Unions Top and Bottom				
Lubricator, Wireline Guide System and accessories	Type class 80 2-7/8" OD x2 - 1/4 ID 10' long 5k working pressure To be fitted with 4.75" - 4 Unions (Bowen Type) Accessories Union Rig up, nipple, bleeder valve, stuffing box with 12" shgave for 0.092" wireline, 8" lower pulley and upper pulley, wire clamp for 0.092" X-over 4.75" - 4 Unions to 3 -1/8" API 300 psi (ANSI900) with ring joint, stud and bolts				
Container	20' container for sea shipment				
Capillary Tube and Heavy Duty Metal Spool	1300m Coil for Capillary Tubing on Heavy Duty Metal Spool				3 units
Pressure Chamber and accessories	Pressure Chamber Assembly 1.66" OD x 10Ft, with Fishing Neck and Fittings to 0.125" OD Tuging				3 units
Weight bar and Bull Nose	1-3/4" x 5' Weight Bar and 5/8" Pin & Box connections with Bull Nose				3 units
Paroscientific Quartz pressure transducer and accessories	Quartz pressure transducer with heavy duty hosing with cables Quartz pressure standard unit Reliability : +/- 0.01% FS Hysteresis: +/- 0.01% FS Accelerations Sensitivity: +/- 0.008% Full Scale G Supply Voltage Sensitivity less than 0.001% FS/V Range : 0 to 3,000 psiA				3 units
Nitrogen High Pressure gas regulator and	Nitrogen high pressure regulator 0 to 3000 psiG Safety pruge system				3 units
Data logger and accessories	SIIB Data logger in NEMA Weather with Solar Charging System and cables, 4 channel P&T				3 units
Data sampling system	Windows based software package with laptop computer for setting up data loggers and transducers, data collection and data downloading				2 units
Solar Cell Power System and accessories	Solar cell power pack system with Wind generator, mounting bracket, Pole and Connections Cables to Data logger				3 units
High Pressure Valve Unit and accessories	High pressure valve & fitting package for connecting 0.125" OD tubing to the purge system and surface transducer				3 units
Tube Clamp and accessories	Block Clamp with Chain				3 units

3.2 Aporte de Bolivia

3.2.1 Contraparte

La siguiente tabla presenta la relación de la contraparte boliviana hasta mayo de 2011.

Tabla 3-8 Lista de personal de contraparte boliviana (hasta mayo de 2011)

	Nombre	Empresa	Observaciones
1	William Rojas Munguía	ENDE	Coordinador del proyecto
2	Julio Torres Navarro	ENDE	Geólogo
3	Eduardo Mariaca H.	ENDE	Geoquímico
4	Eduardo Villagómez D.	Ambientalista	Ambientalista
5	Ariel Chipana	ENDE	
6	Rodrigo Torrejon	ENDE	Pruebas
7	Juan Rocabado	ENDE	
8	Branko Grancedo	ENDE	Administrador
9	Diana Císely Cadima Zeballos	ENDE	Geoquímico
10	Cristina Condori	ENDE	Pruebas

La siguiente tabla presenta una relación de la contraparte boliviana desde noviembre de 2011 hasta el presente.

Tabla 3-9 Lista de personal del contraparte Boliviana (Hasta mayo de 2013)

	Nombre	Empresa	Observaciones
1	Daniel Hinojosa	ENDE	Jefe administrativa
2	Patricia Claros	ENDE	contratación y servicios
3	Marco Escobar Seleme	ENDE	Coordinador del proyecto
4	Daniel Gustavo Vilarroel Camacho	ENDE	Geoquímico
5	Estefanía Tito Claros	ENDE	Geoquímico
6	Pedro Rómulo Ramos Sullcacani	ENDE	Ingeniero civil
7	Danny Miguel Revilla Vargas	ENDE	Ingeniero de yacimientos
8	Cesar	ENDE	cargo de adquisición

3.2.2 Lugar de entrenamiento

El lugar de entrenamiento fue establecido en el campo geotérmico “Sol de Mañana” utilizando los equipos donados, el material y el campamento ofrecido por ENDE en Laguna Colorada. Otras sesiones de entrenamiento se llevaron a cabo en la oficina central de ENDE en Cochabamba y en el MHE situado en la ciudad de La Paz.

3.2.3 Equipos para el estudio

Dentro del campamento de ENDE en la Laguna Colorada, el equipo que estaba disponible en el laboratorio y en la bodega, y que a su vez, estaban en posibilidad de ser utilizados se listan a continuación:

- ① Generador(37.5KVAx2 y 62.5KVAx1)
- ② Turbo bomba (40Hp 4 pasos x 2 and 5 5 pasos x 2)
- ③ Compresor (baja presión~10Bar、 gran caudal)
- ④ Bomba de vacío
- ⑤ Tubería helicoidal y grapas (4inch y 6 inch de diámetro). Cuatro kilómetros incluyendo grapas No se puede corregir el escapa de la tubería cuando se afecta por la corrosión, se usan para baja presión
- ⑥ Sondas mecánicas para medición en pozos fabricados por Kuster (presión y temperatura), relojes, recorders, Todos estos instrumentos requieren de re calibración o mantenimiento general
- ⑦ Probador de peso muerto (para calibrar los manómetros de presión)
- ⑧ Tubería capilar y cámara de presión (especificaciones desconocidas)
- ⑨ Malacate para las operaciones de registros en pozos
- ⑩ Cable para el malacate Estos equipos se dejaron en el pozo SM-3
- ⑪ Caja de estopero y lubricador para los registros dinámicos de cable blindado.
- ⑫ Malacate para las operaciones de registros dinámicos
- ⑬ Válvula de compuerta (sin brida)

4” Powell (600psi)

3” Powell (125 psi)

- ⑭ Diferentes tipos de juntas de anillo de alta presión Bridas ANSI

Tabla 3-10 Especificaciones de las juntas de anillo

RING NUMBER	PRESSURE CLASS RATING	OUTSIDE DIAMETER (mm)	THICKNESS (cm)	COUNT
R24	2"ANSI 900 FLANGE	106,2	17,7	8
R31	3" ANSI 300 - 900 FLANGE		17,6	13
R 37	4" ANSI 300 - 900 FLANGE	159,9	7,6	4
R57	12" ANSI 300 - 900 FLANGE			13
R53	13" S 304			1

- ⑮ Equipos y materiales para monitoreo y analisis quimica (ver la lista de siguiente)

Tabla 3-11 Reactivos químicos que estaban almacenados en el laboratorio de ENDE

DESCRIPTION	CANTIDAD	UNIT
Bromocresol green-methyl red	28	capsules
indicator for chloride	20	capsules
Phenolphthalein	20	capsules
Methyl isobutyl ketone	10	gr
methyl orange	50	gr
potassium cyanide	200	gr
glacial acetic acid	750	gr
silver nitrate	5	gr
Barium chloride	200	gr
Sulfate and ammonium iron III	500	gr
ammonium molybdate	500	gr
soluble starch	500	gr
Cadmium acetate	60	gr
Bromo 99%	60	gr
Diphenyl carbazina	3	gr
bromocresol green	1	gr
Fluoroexona	1	gr
Alizarin s	3	gr
Acetone	1	L
ammonium molybdate	200	gr
Ammonium carbonate	20	gr
hydroxylamine hydrochloride	100	gr
Phenolphthalein	30	gr
Phenanthroline	3	gr
Titriplex II	80	gr
EDTA	300	gr
Iodi resublimed	8	gr
Hydroxyquinoline	10	gr
Eriochrome Black	50	gr
Magneson	1	gr
Potassium chloride	210	gr
potassium hydroxide	200	gr
Potassium iodide	300	gr
potassium dichromate	200	gr
Potassium acid phosphate	550	gr
potassium thiocyanate	200	gr
Murex	1	gr
Calcein	1	gr
Mercury	30	gr
sodium hydroxide	1800	gr
ammonium acetate	1000	gr
Phenyl red	8	gr
methyl red	10	gr
sodium carbonate	500	gr
sodium chloride	500	gr
sodium sulfide	1000	gr
sodium acetate	400	gr
sodium thiosulfate	500	gr
Silver nitrate solution standard	2	capsules
standard hydrochloric acid solution	5	capsules
Na thiosulfate solution standard	5	capsules
Buffer pH 4	5	capsules
Buffer pH 7	5	capsules
Buffer pH 9	5	capsules
Sulfuric acid conc.	1,5	L
nitric acid conc	0.8	L

Tabla 3-12 Lista de equipos para el análisis químico almacenado en el laboratorio de ENDE

CANTIDAD	Detalle	Estado	CANTIDAD	Detalle	Estado
3	5 ml GLASS Erlenmeyer flask	Bueno	11	GLASS VESSEL 500 ml.	Bueno
2	50 ml GLASS flask	Bueno	2	GLASS VESSEL 800 ml.	Bueno
1	BENCH PRESS	Bueno	12	GLASS VESSEL 200 ml.	Bueno
180	GLASS TEST TUBES	Bueno	14	GLASS VESSEL 100 ml.	Bueno
2	10 ml BURETTE	Bueno	2	GLASS VESSEL 30 ml.	Bueno
2	25 ml BURETTE	Bueno	4	400 ml Erlenmeyer flask. GLASS.	Bueno
4	TEST PIECES OF 1 L	Bueno	2	250 ml Erlenmeyer flask. GLASS.	Bueno
6	10 ml volumetric pipette	Bueno	4	100 ml Erlenmeyer flask. GLASS.	Bueno
2	1 ml BURETTE	Bueno	2	glass dryer.	Bueno
1	0.5 ml BURETTE	Bueno	1	glass funnel.	Bueno
2	2 ml BURETTE	Bueno	5	1 L volumetric flask	Bueno
3	1 ml BURETTE	Bueno	4	250 ml measuring cylinder.	Bueno
1	2 ml BURETTE	Bueno	12	GLASS MATERIAL GAS sampler.	Bueno
1	STAINLESS CLIP	Bueno	2	BALL DECANTING 500 ml.	Bueno
16	GLASS BOTTLE GROUND COVER	Bueno	1	BALL DECANTING 250 ml.	Bueno
10	AMBER GLASS BOTTLE S / COVER	Bueno	4	BALL DECANTING 1 L.	Bueno
6	AMBER GLASS BOTTLES W / COVER	Bueno	3	BALL DECANTING 500 ml.	Bueno
3	PISETAS PLASTIC	Bueno	10	VOLUMETRIC TEST TUBES 10 ml.	Bueno
4	800 ml GLASS Erlenmeyer flask.	Bueno	13	FAHRENHEIT THERMOMETERS	Bueno
3	1 LT GLASS Flask	Bueno	5	1 ml volumetric pipette. GLASS.	Bueno
4	GLASS BALL 1 L.	Bueno	3	Pipettes of 25 ml. GLASS.	Bueno
5	100 ml GLASS graduated cylinder.	Bueno	5	10 ml pipette. GLASS.	Bueno
1	Graduated cylinder, 25 ml. GLASS	Bueno	1	Pipette 5 ml. GLASS.	Bueno
2	FLASK Kitazato 1 L. GLASS	Bueno	1	Pipette 1 ml. GLASS.	Bueno
1	Kitazato FLASK 500 ml. GLASS	Bueno	2	METER LAB RUBBER HOSE.	Bueno
9	FUNNEL GLASS DIFFERENT SIZES	Bueno	17	gas sampler (GLASS)	Bueno
1	PORCELAIN MORTAR PILON AND	Bueno	18	MOULDS FOR PLASTIC ICE.	Bueno
2	PORCELAIN FUNNEL FILTER.	Bueno	4	UNIVERSAL METAL BRACKET.	Bueno
5	500 ml flask. GLASS	Bueno	2	CLIP BURETTE.	Bueno
5	250 ml flask. GLASS	Bueno	2	CLAMP RING	Bueno
5	25 ml flask. GLASS	Bueno	1	500-mL cylinder. PLASTIC.	Bueno
1	Glass bottles for automatic titration	Bueno	1	Plastic funnel.	Bueno
8	100 ml flask. GLASS	Bueno			

4. Actividades y logros del proyecto

Se realizaron las siguientes actividades de transferencia de tecnología.

4.1 Transferencia de tecnología en monitoreo ambiental

4.1.1 Elaboración del manual de monitoreo ambiental

a) Objetivo

Elaborar un manual de monitoreo ambiental para las pruebas de producción de pozos geotérmicos en el campo geotérmico de Sol de Mañana, basado en los lineamientos del Estudio de Impacto Ambiental para ser aplicado a las actividades del presente proyecto.

b) Bitácora de actividades

- El plan de monitoreo ambiental que fue formulado inicialmente fue sometido a una revisión durante la primera visita al campo dentro de este proyecto y se elaboró una versión preliminar de este manual al término de la primera visita en el campo.
- El monitoreo ambiental fue continuada aún después de la primera actividades en el campo, y en base a estas nuevas actividades en campo la versión preliminar del manual fue progresivamente modificada hasta llegar a la versión final.

c) Producto

El manual se utilizó como directriz en las operaciones sobre el monitoreo ambiental durante las pruebas de producción confirmando así su utilidad.

4.1.2 Instalación de equipos meteorológicos

A la fecha del inicio de este proyecto, para el campo geotérmico Sol de Mañana, no había datos meteorológicos de largo plazo, y por esto faltaban datos básicos para poder hacer una simulación confiable de la difusión de concentración de sulfuro de hidrógeno y datos básicos relacionados al diseño de la planta geotérmica. Por esta razón se hizo necesaria la instalación de una estación de observación metrológica cerca del sitio donde se planifica la construcción de la planta geotérmica y así hacer la medición de datos meteorológicos de largo plazo. Esto fue planteado como un tema crucial para la implementación del proyecto.

a) Objetivo

Obtener condiciones climáticas a largo plazo del campo geotérmico de Sol de Mañana y obtener parámetros meteorológicos a ser utilizados en la simulación de concentración de sulfuro de hidrógeno en la superficie.

b) Bitácora de actividades

Los equipos meteorológicos enviados desde Japón, excepto la batería de uno de ellos pasaron sin problemas por la aduana de Bolivia y los Estados Unidos. La batería se le negó el paso en el aeropuerto de Fukuoka y por esto se tuvo que comprar una batería similar en La Paz. Los equipos se instalaron en el sitio cerca del pozo SM-2 y las mediciones empezaron el día 13 de mayo de 2011. La

batería está funcionando sin problemas durante dos años y medio. Después de iniciar las mediciones el tornillo de fijación de la cubeta para observar la precipitación pluvial no estaba ajustado por lo que se le ajustó después de seis meses de operación y hasta la fecha no ha presentado problema. El medidor de radiación solar quedaba bajo la sombra de la torre de observación según la temporada y lo que se encontró por la falta de mediciones de radiación solar. Este problema se corrigió mediante el cambio de la posición del medidor de radiación solar según la temporada. Además, la batería que no fue aceptada en el aeropuerto de Fukuoka fue enviada a través de mensajería internacional y ahora está en el campamento de ENDE como repuesto.

c) Producto

- Se pudieron obtener datos meteorológicos de largo plazo y de alta calidad por la primera vez en el campo geotérmico de Sol de Mañana.
- Fue posible utilizar datos meteorológicos de alta calidad para la simulación de la concentración de sulfuro de hidrógeno precipitado a diferentes distancias del punto de emisión.
- El personal de ENDE ha dominado la técnica de adquirir los datos meteorológicos utilizando el equipo de alta precisión, confiabilidad y durabilidad que les fue donado.



Figura 4-1 Estación meteorológica

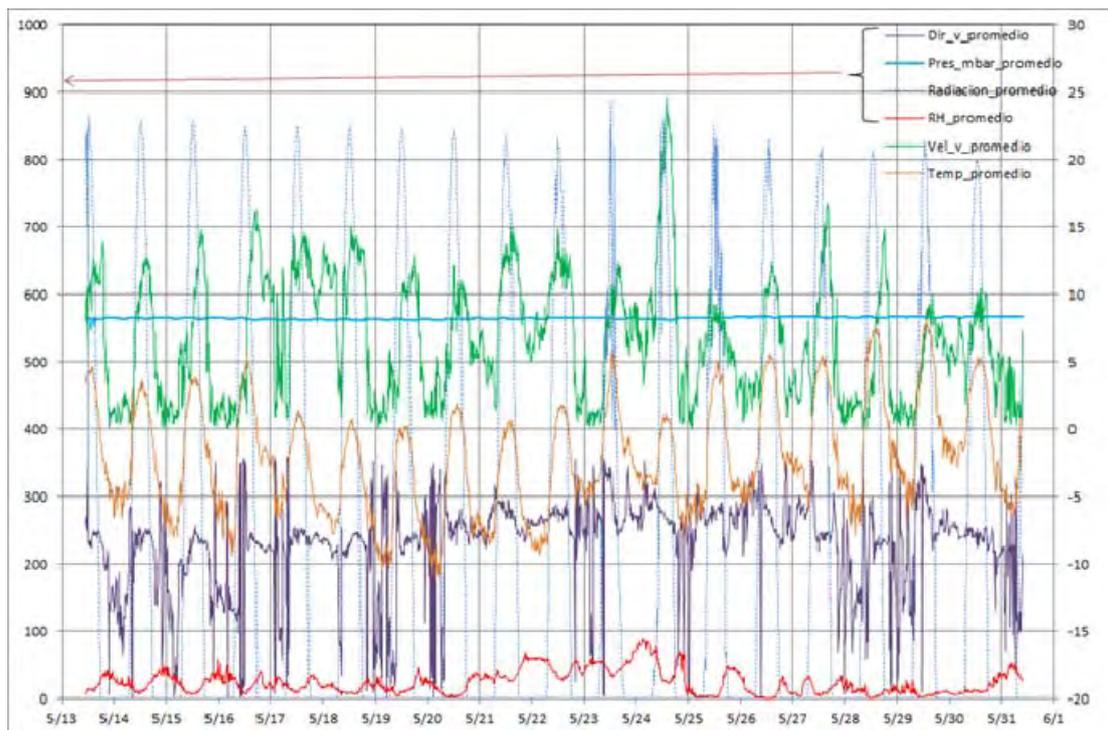


Figura 4-2 Datos obtenidos en la estación meteorológica en Sol de Mañana (13-31 de Mayo 2011)

4.1.3 Concentración de sulfuro de hidrógeno en la atmósfera

a) Objetivo

La línea base del monitoreo ambiental de la concentración de sulfuro de hidrógeno en la atmósfera fue una medición por 24 horas en un sitio cerca de una emanación natural alrededor de la zona de producción.

b) Bitácora de actividades

La ubicación de los sitios de mediciones fue seleccionada en lugares adecuados cerca de las zonas de descarga natural del vapor y alrededor de la zona de pozos a ser sometidos a pruebas de producción. El monitoreo en cada sitio se realiza periódicamente por 24 horas utilizando un medidor portable de sulfuro de hidrógeno.

c) Producto

No se encontraron puntos de medición arriba de 10 ppb en toda el área

El sensor recubierto de oro utilizado para la medición de sulfuro hidrogeno es demasiado sensible por lo es necesario hacer una calibración. Para las mediciones continuas va a ser necesario obtener apoyo técnico de los fabricantes. Se recomienda que cada vez que el elemento químico calibrador para 30ppb (Low Level Functional Test Module) se agote el equipo sea enviado a calibración.

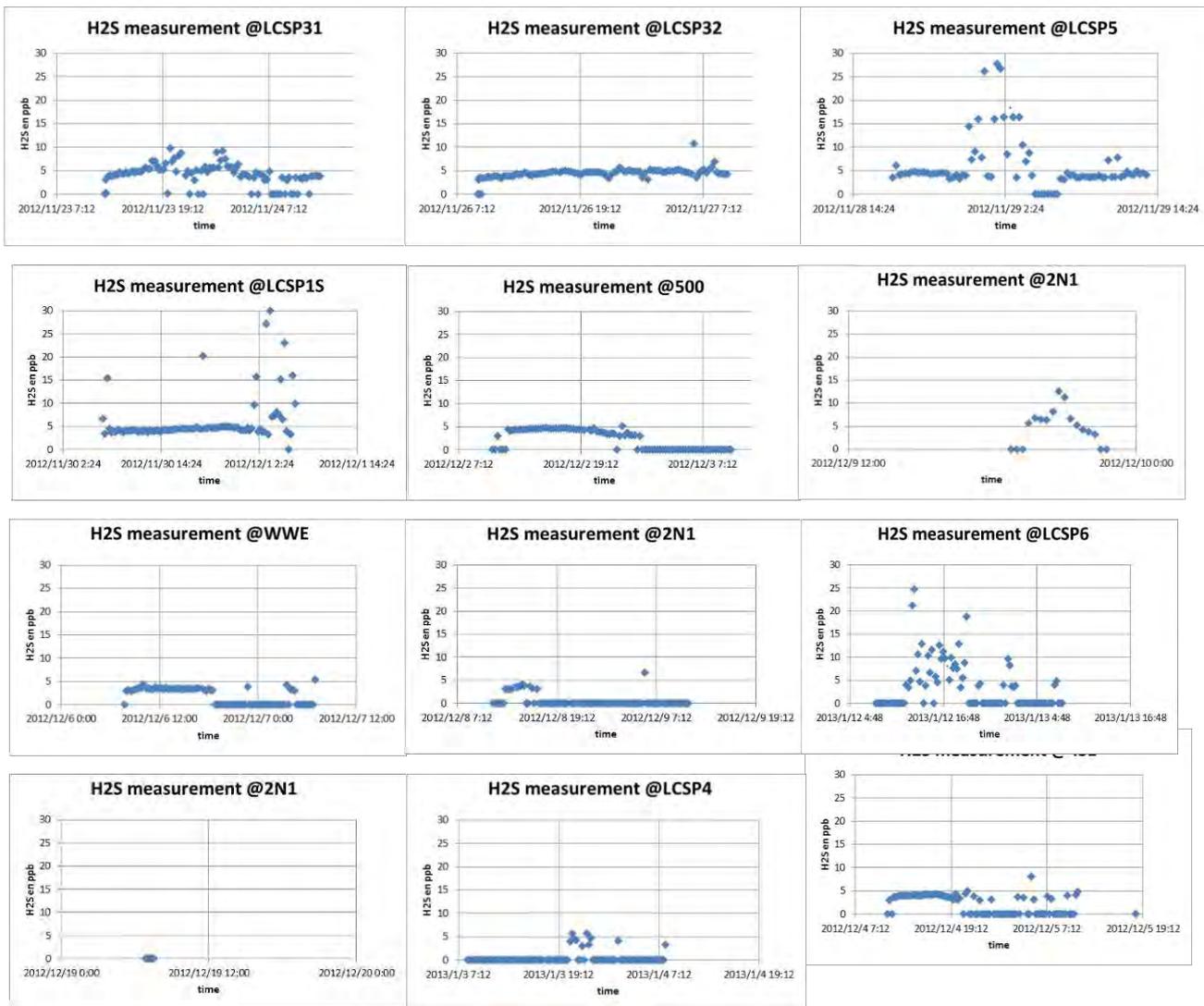


Figura 4-3 Datos de observación para la concentración de H₂S en la atmósfera por 24 horas en Sol de Mañana (1)

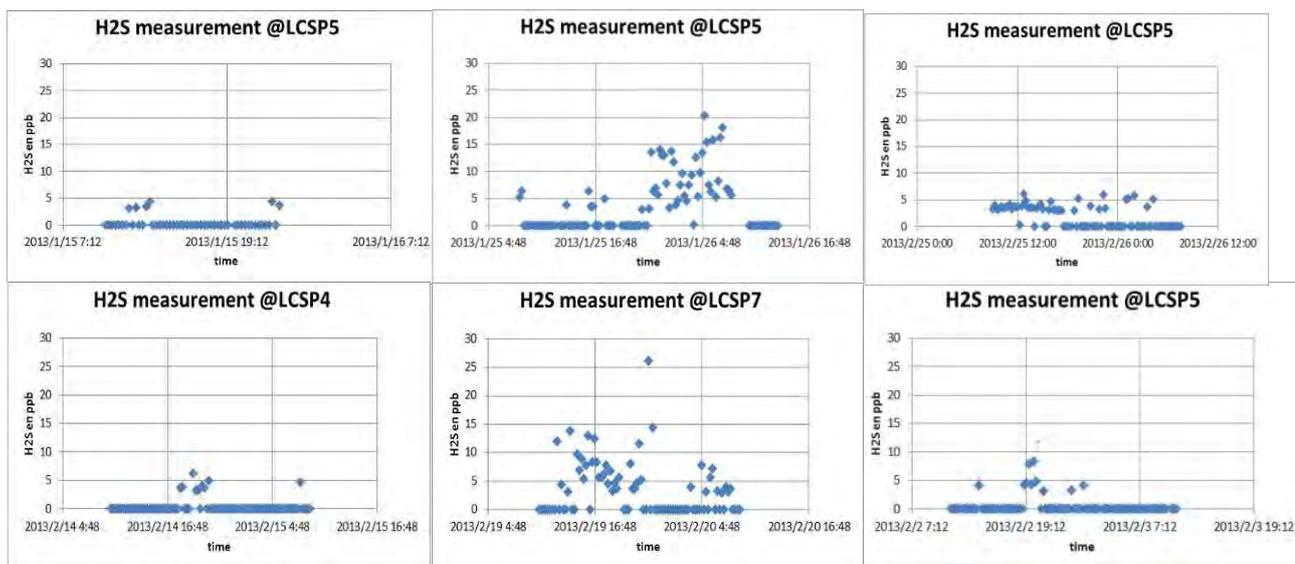


Figura 4-4 Datos de observación para la concentración de H₂S en la atmósfera por 24 horas en Sol de Mañana (2)

Tabla 4-1 Posición de los puntos de medición de H₂S (WGS84)

UTM E	UTM N	Nombre	Comentario
627749	7518493	SP1	2011
627971	7518437	SP2	2011
626903	7519355	SP3	2011
628946	7519521	SP4	2011
628944	7518785	SP5	2011
627798	7519497	SP6	Est. Meteorológica
628177	7519739	SP7	2011
628020	7518936	SP2N	19 de Nov, 2012
629002	7520033	SP31	23 de Nov, 2012
628788	7518105	WW	26 de Nov, 2012
627307	7518586	SP1S	30 de Nov, 2012
623839	7519690	SM5E2	2 de Dic, 2012
631166	7518407	SM4S1	4 de Dic, 2012
628372	7517143	SPWWE	6 de Dic, 2012

4.1.4 Monitoreo en lagunas y ríos (Temperatura, pH, conductividad, salinidad y química)

a) Objetivo

Para obtener la línea base de mediciones de pH, temperatura, salinidad y conductividad se seleccionaron puntos de medición adecuadas en las lagunas y ríos alrededor del Sol de Mañana. Además se analizaron los componentes químicos de las muestras de agua obtenidas en ríos y lagunas 3 veces durante la prueba de producción.

b) Bitácora de actividades

- Para realizar el monitoreo de largo se seleccionaron puntos de mediciones en lagunas y ríos de alrededor de Sol de Mañana, y en lo que se realizaron medición de propiedades físicas.
- Las muestras de agua fue tomadas tres veces en los puntos seleccionados, una antes del inicio de las pruebas de producción y dos durante dicha prueba. Las muestras de agua fueron enviadas a la Universidad de San Simón en Cochabamba para análisis macroquímicas.

c) Producto

- Los resultados de los mediciones de propiedades en lagunas resultaron algunas diferencias y algunos casos estos fueron muy diferentes (por ejemplo medición de salinidad en algunos puntos de medición realizados el 18 de enero y 18 de marzo 2013 y mediciones de conductividad en Agüita Brava) por lo que se considera que es necesario continuar el entrenamiento al personal para mejorar la calidad de medición en el campo.
- El equipo de muestreo fue enviado cada vez al campamento de ENDE desde la Universidad de San Simón, este proceso se llevó a cabo sin ningún problema.
- En la universidad de San Simón, el equipo de análisis de boro no funciono la primera vez análisis por lo cual no se pudo obtener resultados sin embargo para el segundo y tercer análisis la medición de boro fue realizado sin problema.

Polques I

Challviri

El Mirador



Polques II

Huayllajara



LCN4

LCN1



LCN3

LCN2



Figura 4-5 Puntos de muestro del lagunas y ríos

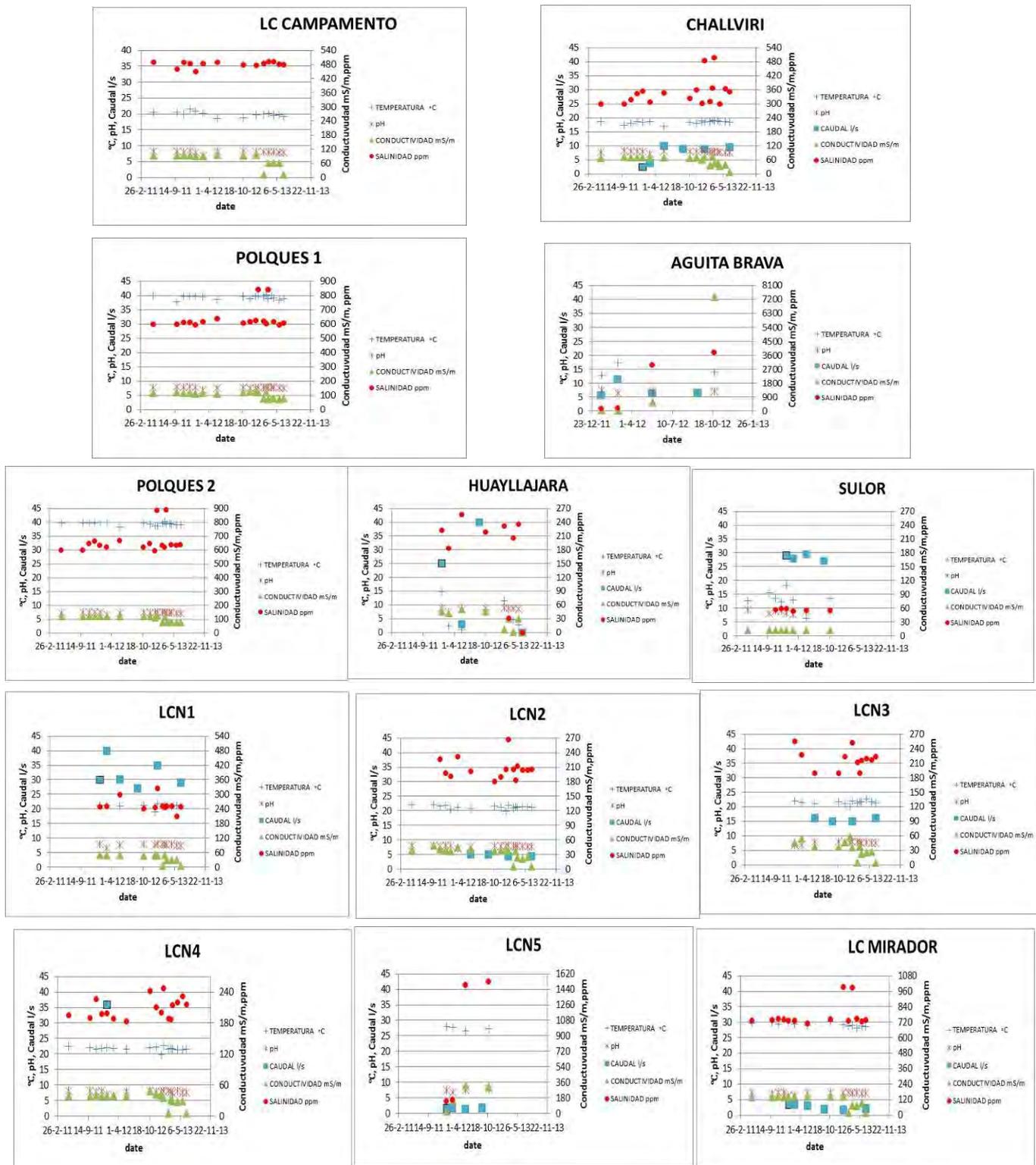


Figura 4-6 Muestras del monitoreo de lagunas y ríos

(Temperatura, pH, conductividad y salinidad)

Tabla 4-3 Datos de análisis químicos de las muestras de agua de lagunas

No.	Date	pH	EC micro uS/cm	Na mg/kg	K mg/kg	Li mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	T-Fe mg/kg	Cl mg/kg	SO ₄ mg/kg	HCO ₃ mg/kg	B mg/kg	As mg/kg	Alkalinity mg/kg	CO ₂ mg/kg	Hardness mg/kg	NO ₂ mg/kg	NO ₃ mg/kg	D.B.O5 mg/kg	D.Q.O mg/kg	Cation meq	Anion meq	Cation ex %	CBE %
Salida	2012/12/02	7.81	1187	308.4	5.05	0.94	60.12	12.2	0.06	142.45	366.74	91.65		0.396	91.65	0	200					17.5	13.2	33.4	28.6
Polques 2	2012/12/02	7.74	1231	343	5.05	1.1	44.1	14.64	0.04	237.43	282.15	102.05		0.328	102.05	0	170					18.5	14.2	29.6	25.8
Challviri	2012/12/02	7.72	721	194.75	1.53	1.1	17.03	5.49	0.04	172.95	59.91	26.65		0.047	26.65	0	65					9.8	6.6	49.5	39.7
LCN 1	2012/12/02	7.89	497	143.65	5.05	0.28	9.62	8.05	0.03	88	51.97	61.75		0.101	61.75	0	56	<0.03	0.8	<2		7.5	4.6	64.3	48.7
LCN 2	2012/12/02	7.89	416	139.45	5.04	0.27	16.03	2.93	0.02	66	10.45	60.45		0.093	60.45	0	52	<0.03	0.87	<2		7.2	3.1	136	80.8
LCN 3	2012/12/02	8.05	465	165	5.05	0.32	12.83	3.9	0.02	83.5	45.55	55.25		0.073	55.25	0	40	<0.03	0.85	<2		8.3	4.2	96.4	65.1
LCN 4	2012/12/02	7.79	377	111.1	4.52	0.23	12.83	3.9	0.02	61	49.57	57.85		0.097	57.85	0	48			2		5.9	3.7	59.7	46.0
Polques 1	2013/03/06	7.79	1208	246	18	0.47	60.12	12.2	<0.02	144.96	352.11	91.02		0.415	91.02	0	200					15.2	12.9	17.5	16.1
Polques 2	2013/03/06	7.85	1256	241.8	1.78	0.54	52.1	12.2	<0.02	189.94	288.09	60.68		0.347	60.68	0	180					14.2	12.3	14.7	13.7
CHARVIRI	2013/03/06	7.53	729	140.45	7.87	0.54	12.83	6.83	<0.02	175	79.94	28.62		0.047	28.62	0	60					7.5	7.1	6.3	6.1
LC1	2013/03/07	7.94	484	86.24	16.1	1.67	12.82	4.39	0.03	87.5	59.82	66.41		0.126	66.41	0	52	<0.04	0.43	<2		5.2	4.8	7.5	7.3
LC2	2013/03/07	7.79	365	60.32	10.7	0.12	8.82	3.9	<0.02	56	41.57	65.26		0.9	65.26	0	38	<0.04	0.93	<2		3.7	3.5	4.1	4.0
LC3	2013/03/07	7.88	385	75.32	11.9	0.13	9.62	9.95	<0.02	62.5	50.53	60.68		0.87	60.68	0	38	<0.04	0.76	<2		4.9	3.8	28.1	24.6
LC4	2013/03/07	7.77	359	68.64	11.2	0.12	9.62	2.44	<0.02	55	50.99	64.12		0.148	64.12	0	40	<0.04	0.89	<2		4.0	3.7	7.9	7.6
SALIDA VERTIENTE(1)	2013/04/29	7.79	1214	173.4	27.4	1.05	48.2	9.76	<0.02	190.58	257.23	120.36		0.198	120.36	0	160					11.5	12.7	-9.9	-10.4
SALIDA VERTIENTE (2)	2013/04/29	8.12	668	95.6	8.55	0.95	56.11	9.76	<0.02	155.1	51.32	36.72		2.5	0.024	0	180					8.0	6.0	32.0	27.6
Polques 1	2013/04/29	7.86	1159	144.45	32.9	0.83	68.14	12.2	<0.02	138.96	307.53	88.74		0.259	88.74	0	220					11.5	11.8	-2.1	-2.1
LCN 1	2013/04/29	7.95	489	58.1	11.12	0.32	12.83	3.9	<0.02	90.33	42.35	66.3		1.76	0.11	0	48					3.8	4.5	-16.5	-17.9
LCN 2	2013/04/29	8.1	489	49.57	9.14	0.22	9.62	3.9	<0.02	55.6	32.97	68.34		1.2	0.094	0	40					3.2	3.4	-5.4	-5.6
LCN 3	2013/04/29	7.92	373	47.13	9.34	0.24	8.02	4.88	<0.02	64.52	37.13	60.3		1.35	0.092	0	40					3.1	3.6	-13.7	-14.7
LCN 4	2013/04/29	8.04	429	54.67	9.71	0.29	9.62	3.9	<0.02	78.2	36.04	53.24		1.58	0.125	0	40					3.4	3.8	-10.5	-11.1

(WGS84)

Tabla 4-2 Coordenadas del punto para la tomada de muestras

UTME	UTMN	Altura	Nombre
638917	7507255	4433	Polques 1
638961	7507156	4433	Polques 2
642469	7511805	4414	Challviri
623162	7547769	4295	LCN 1
623378	7547806	4296	LCN 2
623394	7547813	4298	LCN 3
623427	7547845	4302	LCN 4

Tabla 4-4 Coordenadas de puntos de medición de propiedades físicas de lagunas y ríos

(WGS84)

Nombre	UTM E	UTM N	Z
Aguita Brava	620239	7515013	4767
Polques 1	638917	7507255	4433
Polques 2	638961	7507156	4433
Challviri	642469	7511805	4414
Huayllajara	621372	7536874	4386
LCN 1	623162	7547769	4295
LCN 2	623378	7547806	4296
LCN 3	623394	7547813	4298
LCN 4	623427	7547845	4302
LCN 5	626084	7547969	4304
LCN Mirador	623923	7543097	4306

4.1.5 Monitoreo de química de gas tomada en zonas de fumarolas

a) Objetivo

Para obtener la línea base de la química de gases se realizaron muestreos en zonas de fumarolas alrededor del campo geotérmico de Sol de Mañana. La medición de gas fue hecha 3 veces durante la descarga de la fumarola y acorde a esto se analizaron las propiedades químicas del gas.

b) Bitácora de actividades

La posición de fumarolas cambia constantemente por lo que la toma de muestras de gas en puntos predeterminados fue difícil y dado que la superficie de esta zona es seca no hay una característica especial. Pero si se excava unos 10 cm se encuentra emisión de gas. Un listado de la composición de los gases muestreados se presenta en la Tabla 4-5, y en la Tabla 4-6 se presenta las coordenadas de ubicación de los puntos de colección (Desafortunadamente la cantidad del muestreado condensado fue pequeña, menos de 5g, y también fue insuficiente en porcentaje de peso por volumen.). Además como se presenta en la Figura 4-8, la composición química de los gases en Sol de Mañana se piensa que es sustancialmente homogénea.

c) Producto

Aunque la contaminación del aire fue suficientemente reconocida, la transición de la composición de las muestras químicas recogidas era estable.



Figura 4-7 Muestreo de gases en fumarolas

Tabla 4-6 Lista de valores del análisis de gas de fumarolas

No.	Date	Sample Gas/Steam Ratio (ft ³ /lb)	Sample Gas/Steam Ratio (ppm by Weight)	Dry Gas % by Volume										Parts per Million by Weight						
				CO ₂	H ₂ S	Ammonia	Ar	O ₂	N ₂	CH ₄	H ₂	Water	CO ₂	H ₂ S	Ammonia	Ar	O ₂	N ₂	CH ₄	H ₂
N-G Steam	21/2/2013		6026	3	8.30E-02	<1.75e-3	8.21E-01	1.93E-01	7.68E+01	<3.23E-1	<1.82E+00									
N-G Steam	6/12/2012		2557		3.99E+00	5.71E-01	1.56E-02	3.10E+00	3.10E+00	5.82E-01	2.07E-01	9.94E+05	1.37E+01	8.80E-01	1.23E+02	1.32E+01				
W-1 Steam	21/2/2013				2.34E+00	<9.44E-3	2.52E-01	5.25E+00	2.35E+01	5.29E-01	<8.83E+00									
W-1 Steam	28/4/2013				4.70E+00	<6.53E-04	3.93E-03	1.87E+01	7.57E+01	<5.14E-01	<2.94E+00									
W-1 Steam	6/12/2012		2277		3.52E+00	6.76E-01	1.92E-02	4.11E+00	4.11E+00	7.85E-01	1.93E-01	9.95E+05	1.51E+02	9.64E-01	1.45E+02	1.59E+01				
W-2 Steam	6/12/2012		2760		2.98E+00	4.42E-01	2.75E-02	5.31E+00	5.31E+00	6.45E-01	1.96E-01	9.92E+05	1.55E+02	1.67E+00	2.26E+02	1.58E+01				
W-2 Steam	21/2/2013		9253		2.23E+00	3.73E-02	3.23E-02	4.03E+00	4.03E+00	4.91E-01	<1.34E-01	9.51E+05	1.63E+02	2.77E+00	2.43E+02	1.70E+01				
W-2 Steam	28/4/2013		10108		9.78E+01	6.76E-01	3.16E-02	1.34E+00	1.34E+00	1.25E-01	<3.64E+00	9.76E+05	1.26E+02	1.97E+00	2.05E+02	1.10E+01				
W-3 Steam	6/12/2012		3894		8.98E+01	2.18E+00	1.13E+00	5.96E+00	5.96E+00	6.50E-01	2.21E-01	9.94E+05	3.64E+03	6.89E-01	1.54E+02	9.92E+00				
W-3 Steam	21/2/2013		3380		9.20E+01	3.01E+00	2.00E-01	4.12E+00	4.12E+00	6.52E-01	<7.94E+00	9.92E+05	7.54E+03	3.16E+00	2.15E+02	1.95E+01				
W-3 Steam	28/4/2013		3485		9.25E+01	2.92E+00	3.79E-01	1.47E-02	3.56E+00	6.38E-01	<6.57E+00	9.92E+05	7.81E+03	1.13E+00	1.92E+02	1.97E+01				
W-4 Steam	21/2/2013		3621		9.21E+01	3.15E+00	5.58E-01	3.55E+00	3.55E+00	6.75E-01	<4.34E+00	9.91E+05	8.08E+03	1.90E+01	1.98E+02	2.15E+01				
W-4 Steam	6/12/2012		5675		9.11E+01	3.13E+00	8.11E-01	3.89E+00	3.89E+00	7.22E-01	3.35E-01	9.87E+05	3.31E+02	2.35E+00	3.39E+02	3.60E+01				
E-1 Steam	28/4/2013		6821		9.75E+01	1.38E+00	2.02E-01	<1.42E-02	8.29E-01	1.01E-01	<2.07E+00	9.84E+05	1.60E+04	<2.11E+00	8.65E+01	6.04E+00				

Tabla 4-5 Coordenadas de los puntos para la tomada de muestras

(WGS84)

E	N	Nombre
627994	7519711	N-G
627874	7518516	W-1
627745	7518555	W-2
627754	7518529	W-3
627777	7518510	W-4

Tabla 4-7 Coordenadas de los agujeros de 1 m para la medición de temperatura del suelo

X	Y	Z	NOMBRE	Zona
627814	7518327	4856	T0	Oeste
627822	7518473	4863	T1	Oeste
627772	7518487	4864	T2	Oeste
627737	7518548	4866	T3	Oeste
627755	7518583	4863	T4	Oeste
627785	7518572	4864	T5	Oeste
627838	7518556	4861	T6	Oeste
627881	7518546	4863	T7	Oeste
627897	7518523	4864	T8	Oeste
627886	7518480	4864	T9 (abandon)	Oeste
627848	7518524	4866	T10 (abando)	Oeste
628213	7518568	4862	T11	Este
628245	7518584	4860	T12	Este
628264	7518623	4859	T13	Este
628222	7518651	4860	T14	Este
628196	7518667	4860	T15	Este
628157	7518697	4861	T16	Este
628140	7518654	4861	T17	Este
628156	7518627	4865	T18	Este
628176	7518601	4859	T19	Este
627990	7519706	4899	T20	Norte
628036	7519713	4899	T21	Norte
628017	7519759	4893	T22	Norte

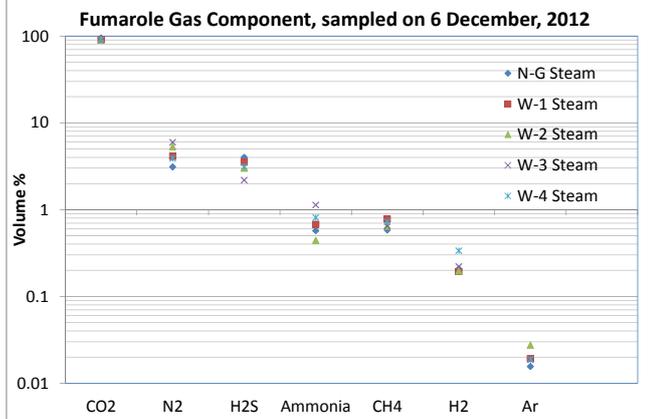


Figura 4-8 Química de las emanaciones superficiales

4.1.6 Monitoreo de la temperatura del subsuelo a la profundidad de 1m en la zona de fumarolita

a) Objetivo

La línea base para el monitoreo ambiental de la distribución de temperaturas del subsuelo se hizo con la medición de temperatura a la profundidad de 1m en la zona de fumarolas alrededor de Sol de Mañana. Las mediciones periódicas de esta distribución de temperatura se utilizan para determinar el impacto a la zona de fumarolas por las pruebas de producción o durante la operación de la planta geotérmica.

b) Bitácora de actividades

- La localización de los 23 puntos de mediciones en la zona de fumarolas seleccionados durante el primer actividad en 2011 cambio constantemente por cual que hubo puntos que no se pudieron identificar en Noviembre del 2012..
- Como existen fumarolas de temperaturas de arriba de 100°C en algunos puntos de medición los tubos de plásticos guía para el termómetro se deformaban, pero en la mayoría puntos de mediciones la temperatura fue suficientemente baja y estable permitiendo realizar las mediciones sin problemas.

c) Producto

- Las Distribuciones de la temperatura de la profundidad de 1 m se mantenía estables
- La localización de los 23 puntos de mediciones en la zona de fumarolas seleccionados durante el primer actividad en 2011 cambio constantemente por cual que hubo puntos que no se pudieron identificar en Noviembre del 2012.

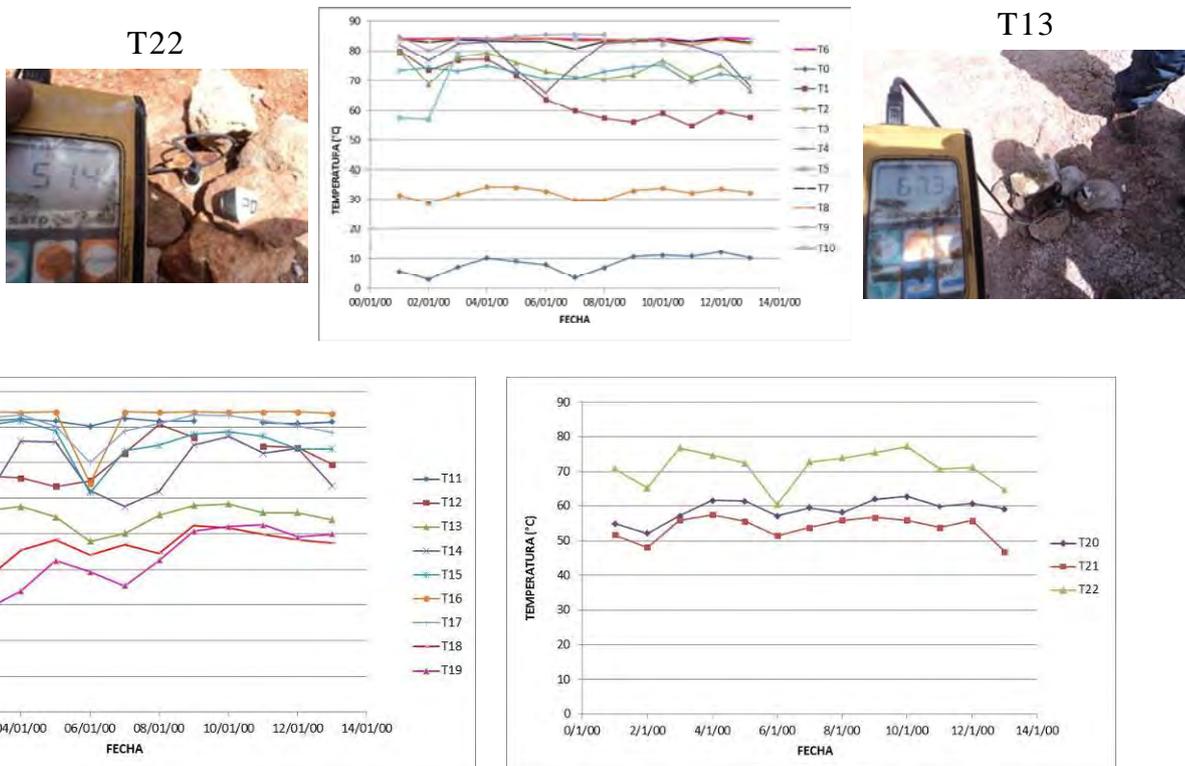


Figura 4-9 Mediciones periódicas de distribución de Temperatura a la profundidad de 1m en 23 puntos

4.1.7 Monitoreo de la zona de fumarolas por registro fotográfico

a) Objetivo

Para establecer la línea base del monitoreo ambiental en el campo geotérmico de Sol de Mañana, se registró la zona fumarolita por medio de fotografía y se repitió esto en diferentes tiempos para observar el impacto ambiental durante el desarrollo geotérmico.

b) Bitácora de actividades

- El plan inicial fue tomar fotografías para cada fumarola sin embargo ya que la localización de estas cambiaba con el tiempo las seleccionada durante la primera actividad en 2011 no se encontraron en la actividad de Noviembre de 2012.
- Por este razón, se decidió registrar la forma y la actividad de la zona total de fumarolas, estableciendo los puntos de observación desde la ladera las montañas ubicadas en frente a las colinas donde hay actividad y pozos geotérmicos a lo largo de la cuenca del Sol de Mañana (S22°26'2.72", W67°45'2.72").

c) Producto

- El registro fotográfico fue utilizado como unas de las actividades para el monitoreo ambiental de la zona de fumarolas de Sol de Mañana.
- La zona de fumarolas aparenta ser más activas durante la mañana temprano sin embargo la realidad es que en la mañana temprano con la temperatura más baja hay más vaporización y condensación haciendo ver la fumarola más grande. Por lo que se hace necesario realizar el registro fotográfico en condiciones similares de temperatura y condiciones de atmosferas estables y además se hace necesario compara estas fotografías en condiciones similares de iluminación-condiciones climáticas –condiciones atmosféricas en cada estación del año.



Figura 4-10 Registro fotográfico de la zona de fumarolas (Excepto la superior izquierda todas tomadas desde el punto de observación)

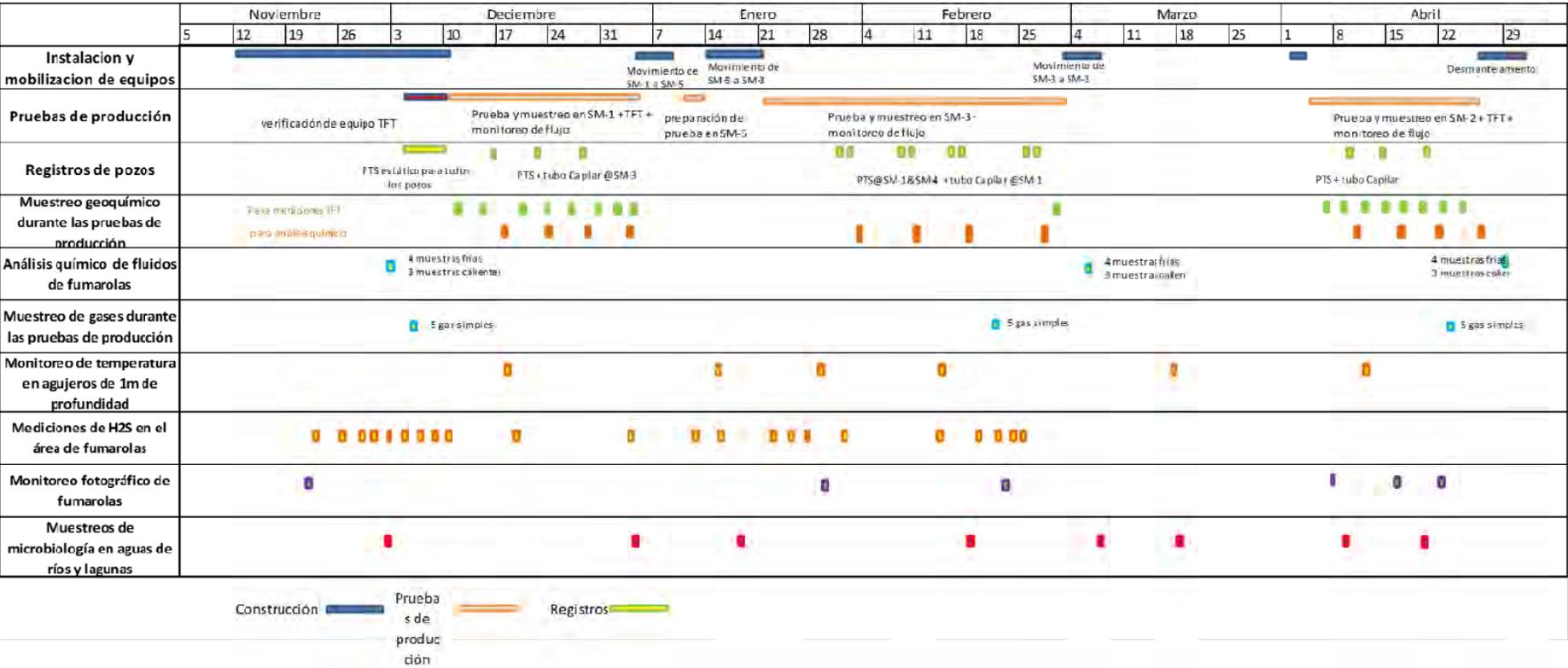


Figura 4-11 Colección de muestras durante las pruebas de producción y monitoreo ambiental

4.2 Transferencia de la tecnología para los estudios de los pozos

4.2.1 Elaboración del Manual de Pruebas de Producción a largo plazo

a) Objetivo

Para este proyecto, las pruebas de producción de los pozos geotérmicos representaron una de las actividades principales en la transferencia de conocimientos técnicos. La transferencia de tecnología relacionada con las pruebas de producción consiste de varios tipos de conocimiento profesional. Adicionalmente, un manual fue elaborado para mejorar la comprensión de la contraparte.

b) Bitácora de actividades

- Para este proyecto se requería llevar a cabo pruebas de producción de alta calidad, y a la vez, producir el impacto menor al ambiente, bajo circunstancias naturales y de logística muy difíciles. Para este fin, se introdujeron varios tipos de tecnologías de las más recientes en el mundo. El borrador del manual fue preparado con base en los resultados de la primera prueba de producción en el proyecto.
- La versión final del manual se completó dos meses después de las pruebas de producción, en parte debido a la demora en el análisis químico de las muestras de salmuera.

c) Producto

- El borrador del manual fue utilizado por los ingenieros de ENDE como guía para que pudieran realizar las pruebas de producción después de terminar la prueba desde el segundo pozo. El manual ha contribuido para mejorar el procedimiento de las pruebas de producción y para mejorar los conocimientos de los ingenieros de ENDE.

4.2.2 Apoyo en la adquisición de los equipos donados por JICA

a) Objetivo

Para este proyecto, varios equipos especiales fueron donados por JICA a ENDE. Los equipos estaban relacionados con las pruebas de producción de pozos geotérmicos y con el monitoreo ambiental en el campo.

b) Bitácora de actividades

Los equipos donados que fueron adquiridos por el consultor:

- (1) Medidor de pH: un equipo para la medir el pH de las aguas de las lagunas y ríos durante el monitoreo ambiental
- (2) Medidor de conductividad: un equipo para la medición de la conductividad eléctrica de las aguas de las lagunas y ríos durante el monitoreo ambiental
- (3) Termómetro con termistor especial: un termómetro especial que se utiliza para medir la temperatura a un metro de profundidad.
- (4) Detector de gas H₂S: el cual se utiliza durante la prueba de producción de los pozos
- (5) Equipos de observación meteorológica: Un conjunto de instrumentos para medir el clima, los cuales se utilizan para el monitoreo ambiental.
- (6) Detector de H₂S: utilizado para la detención de la concentración de H₂S en el área de las fumarolas durante las 24 horas del monitoreo ambiental.

Estos instrumentos se adquirieron en Japón, provenientes de tres empresas distintas.

El equipo adquirido y donado por JICA, a través del apoyo de la consultoría, se lista a continuación:

- (1) silenciador de 40 pies, tipo contenedor con accesorios, utilizado en las pruebas de producción: 1 set
- (2) sensores y sistema automático de registro de datos remotos, los cuales se utilizan en las pruebas de producción: 1 set
- (3) Sistema de medición de flujo de dos fases usando trazador químico: 1 set
- (4) sistema electrónico de registros de presión / temperatura / reguilete (PTS) con accesorios como el lubricador: 2 sets
- (5) El sistema de monitoreo de presión de fondo de pozo con tubo capilar: 3 sets
- (6) tubería de polietileno de alta densidad HDPE: 2.2 km de 10" de diámetro y 2.4 km de 12" de diámetro

El consultor apoyó durante la instalación de los equipos adquiridos y donados y por JICA.

c) Producto

- Los equipos donados por JICA fueron adquiridos por el consultor, a través de la comparación de las cotizaciones de tres empresas y fueron transportados por el consultor en el primer viaje. Los equipos fueron probados e instalados en el sitio del proyecto, y a su vez, estos equipos fueron donados a ENDE.
- JICA realizó licitaciones en Bolivia como las siguientes:
 - (1) Silenciador tipo contenedor de 40 pies con accesorios, utilizado en las pruebas de producción: artículos de ThermoChem (Estados Unidos.).
 - (2) Sensores y sistema automático de registro de datos remotos, para utilizarlo en las pruebas de producción: producto de ThermoChem (Estados Unidos).
 - (3) Sistema de trazador (tipo químico) de dos fases para la medición del caudal con herramientas de muestreo: artículos de ThermoChem (Estados Unidos).
 - (4) Sistema de presión / temperatura / Spinner (PTS) electrónico con una serie de accesorios como lubricador: artículos marca Kuster (Estados Unidos).
 - (5) Tubo capilar para el sistema de monitoreo de presión de fondo de pozo: artículos de Ruppel Marketing (Estados Unidos).
 - (6) Tubería de polietileno de alta densidad HDPE, 2,2 kilómetros de 10" de diámetro y 2,4 kilómetros de 12" de diámetro.
- Los equipos donados funcionaron bastante bien, y además, en condiciones severas de operación y en lugares lejanos se obtuvieron datos de alta calidad. Como resultado se pudo detectar errores anteriores y obtener datos necesarios para corroborar las pruebas de producción realizadas anteriormente. Además, se llevaron a cabo pruebas de producción con un menor impacto ambiental.

4.2.3 Inspección de la situación del Cabezal

a) Objetivo

Los pozos existentes en Sol de Manana se quedaron sin mantenimiento después de su finalización en 1980.

Las condiciones actuales de los cabezales de los pozos debieron ser investigadas antes de las pruebas de producción, por lo que el consultor investigó la condición actual del cabezal del pozo en el sitio.

b) Bitácora de actividades

- La condición del cabezal de los pozos fue inspeccionado por medio de una subcontratación de especialistas en cabezales de pozo. Hubo limitaciones para llevar las herramientas de inspección al campo. La inspección se realizó mediante la confirmación de la especificación escrita en las placas frontales, la especificación de la composición de equipos, la movilidad mecánica, la confirmación de dimensiones diversas, la inspección del espesor por medio de mediciones ultrasónicas, la inspección visual de fugas de líquido o gas, tal como sulfuro de hidrógeno.
- La inspección se llevó a cabo para todos los pozos productores existentes, SM-1, SM-2, SM-3 y SM-5.

c) Productos

- Con excepción de algunos problemas menores, no hubo problemas graves en las condiciones del cabezal de los pozos existentes. El resultado de la inspección se resume en el informe "Estado Físico de Los Cabezales de Pozos en el Campo Geotérmico de Sol de Mañana, Bolivia (Mayo de 2011)".
- la temperatura de operación de la válvula de purga en el pozo SM-2 es de 121⁰C, lo que la hace insuficiente para presiones de saturación de 10 bar en donde la temperatura de saturación es de mas o menos 180⁰C. Fugas leves fueron encontradas en las válvulas principales (principal, válvula lateral) del pozo SM-5. Las fugas no causarían ningún problema durante las pruebas de producción. Sin embargo, las válvulas no se pueden reutilizar en otros pozos.
- La presión en la válvula de purga en el pozo SM-3 fue de 2bar, Este valor parece ser erróneo, ya que se prevé que sea de alrededor de 20 bar. Después de abrir la válvula, la mezcla de salmuera y de gas (alrededor de 30⁰C) hizo que fluyera el pozo. Dado que se prevé el nivel de agua se encuentre sobre la profundidad de los 400 metros, lo anterior sugiere que no había comunicación de presión entre el interior de la válvula de purga y el interior del pozo. Sin embargo, esto no causaría ningún problema durante la prueba de producción.

4.2.4 Prueba de inyectividad del pozo SM-4

a) Objetivo

En el actual plan de pruebas de producción, el vapor producido se libera de forma segura en el medio ambiente. Se intentó llevar a cabo pruebas con el medio ambiente mediante la inyección de toda la salmuera separada en el subsuelo. De acuerdo con los informes existentes, el pozo SM-4 era el adecuado para realizar la reinyección debido a que su elevación es inferior a la de los pozos de producción y la reinyección podría hacerse sin bombeo. Sin embargo, los datos existentes mostraban más bien una capacidad pequeña de inyección en el pozo SM-4. La reinyección es un factor importante en la realización de pruebas de producción, por lo tanto, una prueba de inyectividad se llevó a cabo durante los primeros trabajos en Bolivia.

b) Bitácora de actividades

- Un fosa (de aproximadamente 350m³) fue excavada cerca del pozo SM-4, y el agua fue traída a la fosa desde un pozo de agua subterránea que estaba a unos 2 kilómetros de distancia, utilizando tubos de 4 pulgadas. El agua se inyectó en el pozo SM-4 por medio del método del sifón.

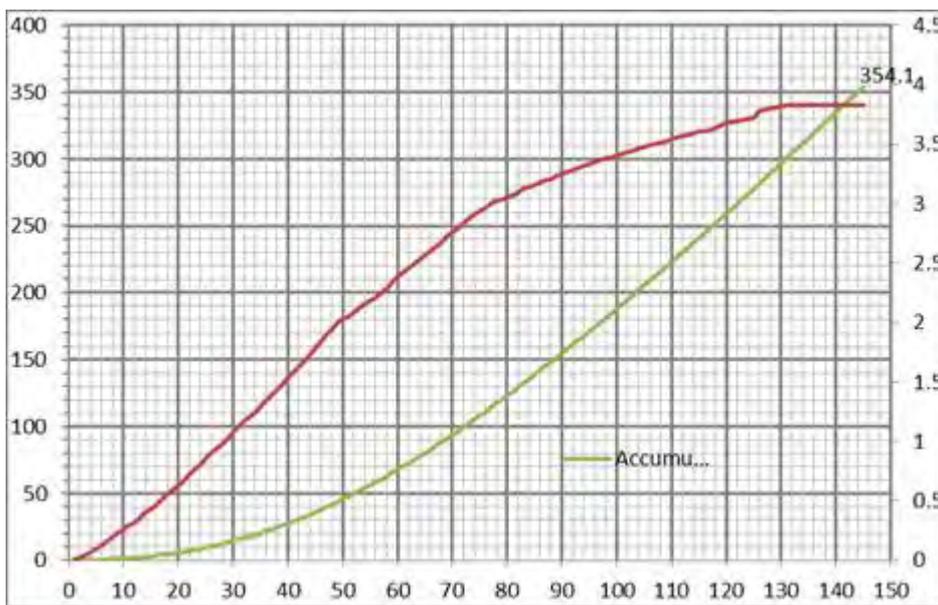


Figura 4-12 Profundidad de la fosa y su capacidad

- En el método del sifón para la inyección se utilizan dos tipos de tubos. Primero el interior del pozo y luego la tubería que funciona como un sifón, las cuales están aisladas de la atmósfera. Luego se inició el bombeo de agua dentro del pozo. El agua inyectada se disipa en el suelo con el aire, lo que resulta en aumento en el vacío en el interior del pozo. A mayor permeabilidad del pozo, mayor es el grado de vacío. Cuando se logra el grado de vacío predeterminado, se abre la válvula de la tubería (que funciona como un sifón). Una cantidad bastante grande de agua puede ser inyectada por este método, de acuerdo con el nivel de agua y la altura de las tuberías.



Figura 4-13 Configuración en campo de la prueba de inyectividad utilizando el método del sifón



Figura 4-14 La lectura del medidor de vacío durante la reinyección utilizando el método del sifón

c) Productos

- El método del sifón funcionó bien y se logró más bien un alto grado de vacío (480 hPa con una presión atmosférica de 560 hPa). Sin embargo, después de varios minutos de bombeo por sifón, las fugas de aire en las juntas de la tubería produjo que la condición de vacío no se pudiera mantener. Debido al alto grado de vacío alcanzado en el inicio de la prueba, se previó que el pozo poseía alta permeabilidad. No hubo otra alternativa que el uso de las viejas tuberías que ENDE tenía, por lo que el método del sifón fue abandonado. La reinyección por bombeo se realizó debido al fracaso del método del sifón, por lo que la observación inicial de la permeabilidad se llevó a cabo.
- Debido a la reinyección por bombeo, la capacidad de reinyección del pozo SM-4 fue estimada en 59 m³/hora, lo anterior debido a que el nivel de agua disminuyó de 135.5 cm (318 m³) a 122 cm (266 m³) en 53 minutos. Por lo tanto, se prevé que la capacidad de reinyección del pozo SM-4 podría exceder los 100 m³/hora, según lo reportado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- De acuerdo con el resultado de esta prueba, se decidió utilizar el pozo SM-4 como el pozo de

reinyección para la prueba de producción del pozo SM-1. Esta fue una decisión importante, sin embargo, en ese entonces, la capacidad de reinyección de SM-4 no estaba confirmada. Por lo anterior, la fosa excavada cerca del pozo SM-4 se utilizó como respaldo para salmuera producida del pozo SM-1 que no se pudiera inyectar, en caso de que la capacidad del pozo SM-4 fuera insuficiente para reinyectar toda la salmuera producida por el pozo SM-1. Para las pruebas de producción de otros pozos, se consideró necesaria la reinyección simultánea en los pozos SM-1 y SM-4. Sin embargo, debido a que se encontró que la capacidad de reinyección del pozo SM-4 era bastante grande, no hubo problemas con la reinyección durante las pruebas de producción.

4.2.5 Selección de las rutas de las tuberías de reinyección

a) Objetivo

El fluido producido en las pruebas de producción (salmuera) se inyecta en el suelo con el fin de llevar a cabo pruebas amigables con el medio ambiente. En un principio, se había previsto la instalación de una bomba cerca del pozo SM-1 y operar la bomba por más de un mes (refiérase a la figura de abajo, una bomba fue colocada cerca de SM-1). Sin embargo, el resultado de los primeros trabajos en Bolivia indicó que la idea de utilizar bombas era impráctico. Por lo tanto, se decidió utilizar solamente el pozo SM-4 como pozo de reinyección, y se colocó la tubería de tal manera que se pudiera realizar la reinyección por gravedad

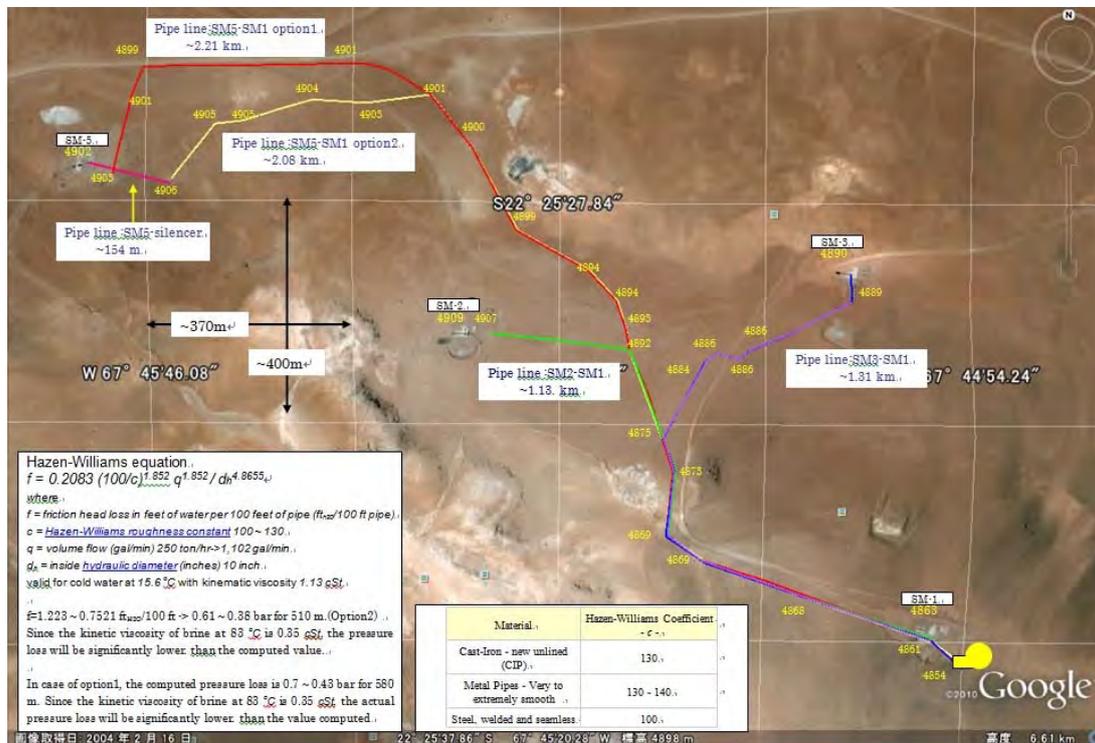


Figura 4-15 Plano inicial de la ruta de reinyección

b) Bitácora de actividades

- Entre las posibles combinaciones de pruebas de producción, la del pozo SM-5 era la más difícil. Durante los primeros trabajos en Bolivia, se encontró que había una propuesta de ruta de tubería para conectar el pozo SM-5 al pozo SM-4 en el estudio de CFE/ ENDE. El recorrido de la tubería se investigó en el campo, y se aprobó la ruta como opción razonable. Para las tuberías de salmuera, se consideraron tubos de HDPE de 10 pulgadas de diámetro, los cuales podían ser utilizados con facilidad.
- Dado que la diferencia de altitud entre el pozo SM-1 y el pozo SM-4 era bastante pequeña, también se buscó la ruta de tubería que logra la reinyección por gravedad. En este momento, se consideró que la capacidad de reinyección del pozo SM-4 era pequeña. También se anticipó que si la capacidad del pozo SM-4 era insuficiente para reinyectar toda la salmuera producida por el pozo SM-1, la prueba de producción se haría a la capacidad máxima de reinyección del pozo SM-4. Para el resto de las pruebas de producción en donde el pozo SM-1 no era productor, se planeó que el pozo SM-1 y el pozo SM-4 se utilizarían como pozos de reinyección.



Figura 4-16 Ruta de la tubería de reinyección del pozo SM-5 al pozo SM-1 conceptualizada después de la primera misión

- El plano con las rutas de tuberías que se mencionó anteriormente, se describió claramente en los documentos licitatorios para las obras de instalación previstos por JICA. Sin embargo, en las pruebas de producción reales, se consideró una ruta diferente, la cual era similar a la ruta que se había considerado inicialmente, la cual había contemplado la distribución del área de fumarolas entre el pozo SM-1 y el pozo SM-5. La reinyección por gravedad se lograría con la nueva ruta de la tubería. Es decir, el fluido en dos fases del pozo SM-5 fue llevado al silenciador que se instaló en un lugar más alto (4 m de altura) y a una distancia de aproximadamente 100 m, en donde se separó la salmuera y se llevó por gravedad al pozo SM-4 pasando por el pozos SM-1. Además, se instalaron tuberías de 12 pulgadas de diámetro para llevar la salmuera del pozo SM-1 al pozo SM-4, en donde el desnivel es bastante pequeño en comparación con la distancia horizontal. En este momento, la capacidad del pozo SM-4 era todavía incierta. Por lo tanto se planeó utilizar la fosa como capacidad de respaldo en caso de que la capacidad de inyección del pozo SM-4 no fuera suficiente.

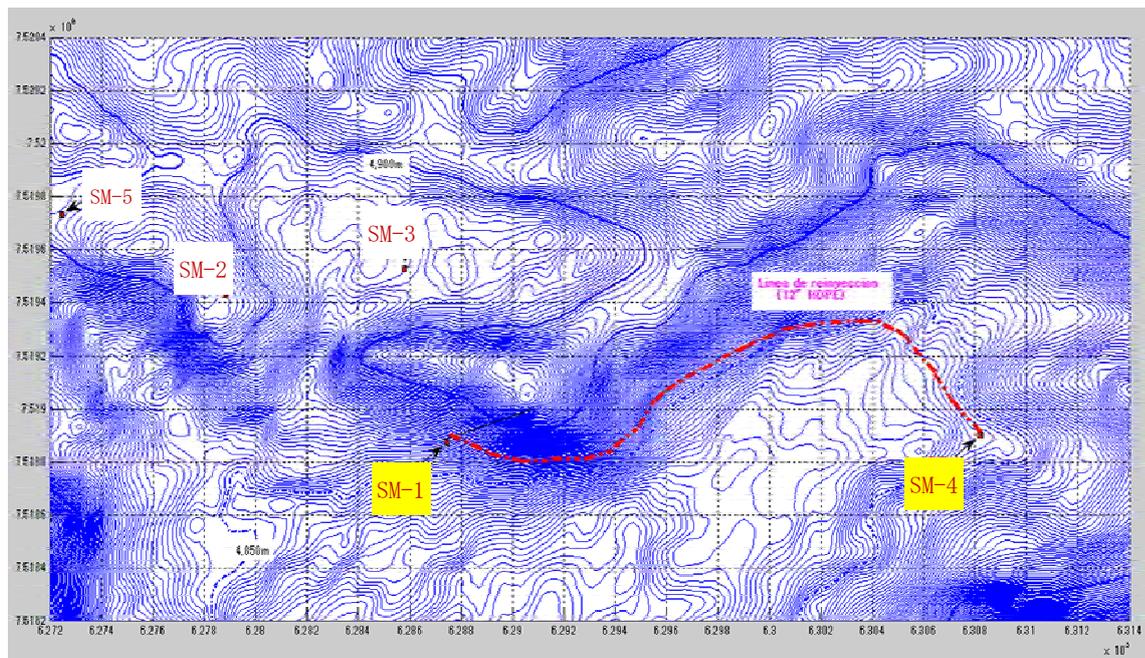


Figura 4-17 Ruta de tubería actual (SM-1 -> SM-4

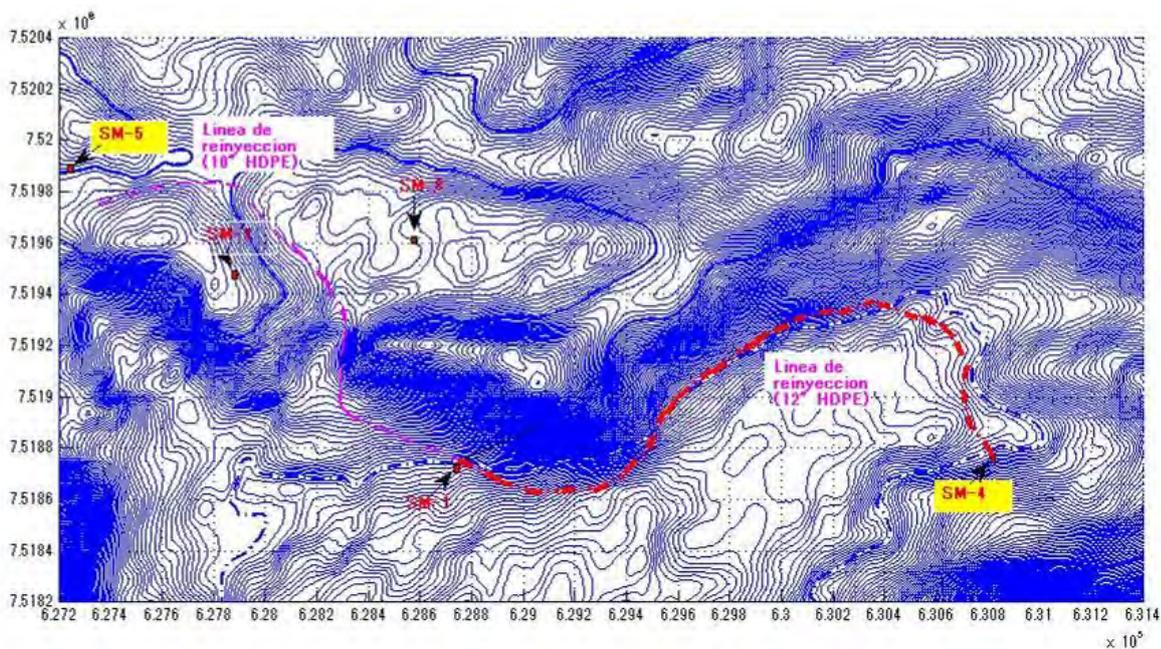


Figura 4-18 Ruta de tubería actual (SM-5 -> SM-4).

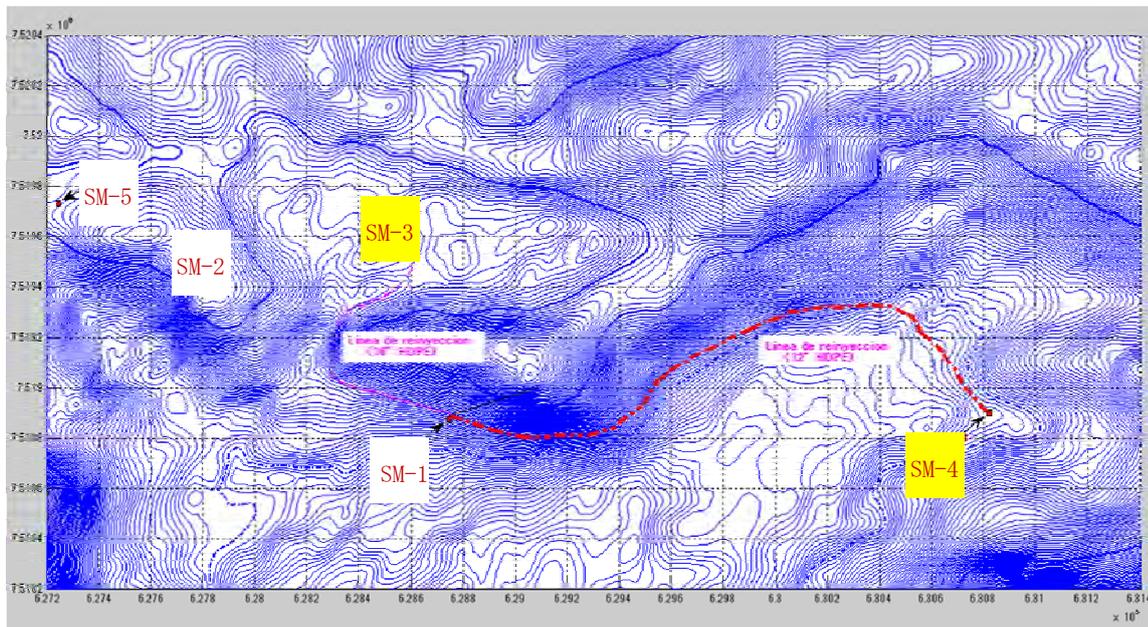


Figura 4-19 Ruta de tubería actual (SM-3 -> SM-4).

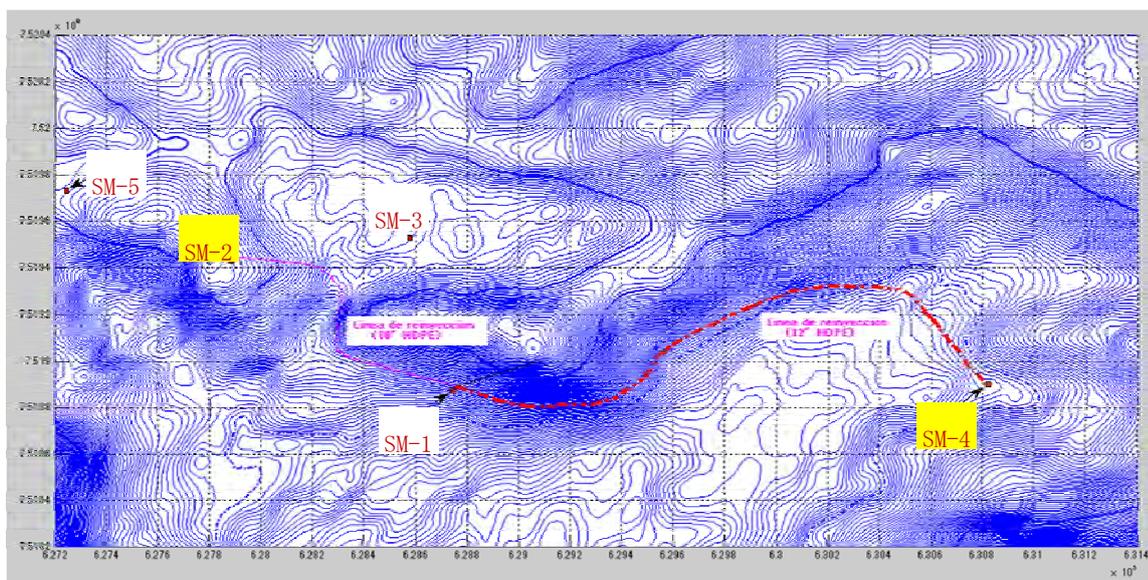


Figura 4-20 Ruta de tubería actual (SM-2 -> SM-4).

- En la construcción de la fosa cerca del pozo SM-4, su capacidad se estimó en 20,600 m³, considerando más bien un valor pequeño de la capacidad de reinyección del pozo SM-4, de alrededor de 110 t/h. La estructura de la fosa se hizo tan simple como fue posible, ya que se utilizaría solamente de forma provisional. Durante la construcción real de la laguna, ésta se construyó siguiendo la inclinación topográfica en el sitio. Durante los primeros trabajos en Bolivia, se encontró que el espesor de la capa superficial sería de aproximadamente 10 cm y se consideró que se encontraría una capa de arcilla impermeable a mayor profundidad. En el principio, el

sellado de las caras laterales sería suficiente, pero durante la excavación real, se encontraron capas de arena distribuidas a mayor profundidad de lo esperado. La base inferior de la fosa fue sellado apropiadamente con geomenbranas.

c) Productos

- Las pruebas de producción comenzaron con el pozo SM-1. La tubería entre el pozo SM-1 y el pozo SM-4 funcionó bien y no hubo ningún problema con la reinyección de salmuera en el pozo SM-4, incluso cuando se tuvo la condición de caudal máximo. En consecuencia, la capacidad del pozo SM-4 se encontró ser bastante grande. No se presentó ninguna situación en donde fuera necesario utilizar la fosa excavada cerca del pozo SM-4. Luego, cuando la prueba de producción de SM-5 fue suspendida debido a la precipitación del sulfato de amonio, la funcionalidad de la ruta de la tubería cerca del pozo SM-5 no pudo ser probada. No obstante lo anterior, la funcionalidad de la tubería no debe tener ningún problema, ya que la línea se utilizó para bombear el agua del pozo SM-1 a la fosa cerca del pozo SM-5. El recorrido de tubería SM-3 -> SM-4 -> SM-2 también fue probado y funcionó bien sin ningún problema.

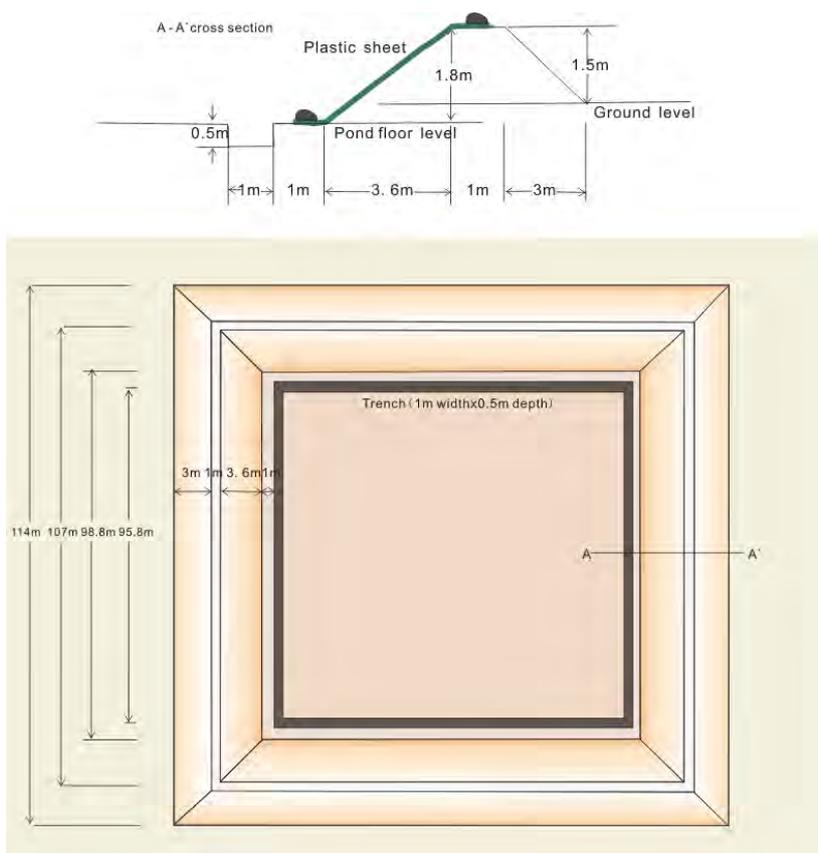


Figura 4-21 Vista de planta de la fosa de emergencia en el pozo SM-4



Figura 4-22 (izquierda) La construcción de la línea de tubería SM-4 -> SM-2 de 12 pulgadas de diámetro con tubo de polietileno de alta densidad (derecha) Tubería completa.



Figura 4-23 (izquierda) Fosa de respaldo, tubería de HDPE de 12 pulgadas entre el pozo SM-1 y el pozo SM-4 (en uso) (derecha) excavada cerca del pozo SM-4

4.2.6 Instalaciones de pruebas en el pozo SM-1

a) Objetivo

Las pruebas de producción en los pozos existentes de Sol de Mañana se inició utilizando el pozo SM-1 como pozos de producción y pozo SM-4 como pozo de reinyección. Las actividades de supervisión de pruebas de producción en los pozos existentes en Sol de Mañana se iniciaron utilizando el pozo SM-1 como pozos de producción y el pozo SM-4 como pozo de reinyección.

b) Bitácora de actividades de supervisión de obras.

- Para las pruebas de producción se instalaron el lugar más apropiado el equipo de separación atmosférica (silenciador) y equipos periféricos necesarios. La filosofía de supervisión de las obras de construcción se centró en cerciorar la seguridad durante la ejecución de las pruebas, todo

iniciando desde la instalación de los equipos e instrumentos en el cabezal del pozo, la tubería de alta presión que va al pozo al silenciador, el silenciador mismo y su equipo periférico. También bajo esta filosofía se dio a cabo la supervisión de las obras en el lado de la descarga de salmuera incluyendo la fosa de emergencia. Se realizó la supervisión de las obras de Polietileno de Alta Densidad (en sus siglas en inglés es HDPE) de 12" desde la plataforma del pozo SM-1 hasta la plataforma del pozo SM-4.

- Se realizó la supervisión de equipos e instrumentación en el cabezal del pozo SM-4.
- Se realizó la supervisión de las obras de la fosa de salmuera en la plataforma del pozo SM-4.
- Los equipos de importación que estaba a cargo a ende fueron recibidos en el sitio con bastante retraso. En noviembre 27 del 2012, todo el equipo y material estuvo disponible en el sitio y esto fue 2 semanas posterior a la llegada de los expertos.
 - Debido a problemas entre los pobladores de Quetena Chico y la oficina de SERNAP de administración del parque se impidió el paso de turistas a la zona, lo cual afectó el acceso entre el campamento de ENDE y la zona de trabajo. Además debido a las actividades para el censo de población noviembre 21, toda la población fue requerida permanecer en sus hogares por lo que el personal del transportista de equipos de ThermoChem regresó a Potosí inmediatamente después de su arribo al campamento sin descargar el equipo. La llegada de la grúa sitio también se retrasó y aun después de su llegada la descarga de los equipos no fue realizado sino hasta unos días después. Un retraso de medio día fue debido a la presencia de los oficiales del Censo que vino al campo con personal local uniformado. Después de estos acontecimientos debido a la continua tensión entre la población y la oficina de SERNAP el progreso de actividades de campo siguió siendo afectada.

c) Productos

A pesar de la inexperiencia de la empresa encargada de instalación de equipos de pruebas y en el manejo de pozos geotérmicos y a pesar de la lejanía del sitio que hacía difícil la comunicación entre los fabricantes de equipos para recibir instrucciones del ajuste inicial de sus equipos se logró iniciar las pruebas de producción.

- Las pruebas de producción fueron realizadas casi de acuerdo al diseño inicial y los resultados fueron los esperados.

4.2.7 Desmantelamiento en SM-1 e instalaciones en pozo SM-5

a) Objetivo

Al término de las pruebas de producción en el pozo SM-1 se procedió al desmantelamiento ordenado de equipos e instrumentos del pozo SM-1 para ser trasladados e instalados en la plataforma del pozo SM-5. Esto incluyó las obras de instalación de la tubería HDPE de 10" entre el pozo SM-5 y SM-1 para conectar la tubería HDPE de 12" del pozo SM-1 al pozo SM-4. Debido a la presencia de incrustación de bicarbonato de amonio dentro del pozo SM-5 se procedió a la instalación de un arreglo para intentar la remoción de dicha incrustación.

b) Bitácora de actividades de supervisión de obras.

- Desmantelamiento de equipos del pozo SM-1 e instalación de pozo SM-5.
- Movimientos de tierra para la construcción de la fosa de almacenamiento de agua para el pozo SM-5.
- Instalación de tubería HDPE de 10" e instalación y conexión de bomba de agua para el envío de fluido desde la fosa de agua SM-1 a la del pozo SM-5.
- Construcción de la fosa de almacenamiento de agua para el pozo SM-5.
- Instalación de bomba y tubería de alta presión en la base de pozo SM-5 e instalación de tubería y bomba para el envío de agua a la reglo de inyección a alta presión.
- Inyección por bombeo de agua de alta presión al pozo SM-5 para la remoción de incrustación.

c) Resultado

- Envío de agua desde la fosa SM-1 hacia la fosa SM-5. Sin embargo debido a limitaciones de existencias de combustible para la bomba no se pudo mantener el envío continuo de agua.
- Por lo anterior y aunque las instalaciones del arreglo para la remoción de incrustación procedió adecuadamente después de varios intentos por la carencia de combustible y por ende de agua la incrustación no pudo removerse totalmente. Por esta razón se tomó la decisión de proseguir con el programa movilizandó la operación al pozo SM-3. Muestras de incrustaciones fueron traídas a Japón (referirse a sección 4.2.15 y Figura 4-61)

4.2.8 Desmantelamiento en SM-5, operaciones en SM-2 e instalaciones en pozo SM-3

a) Objetivo

Consecuentemente a la decisión de suspender la prueba de producción del pozo SM-5, se iniciaron las actividades para la prueba de producción del pozo SM-3 con la movilización de forma ordenada de los equipos y materiales a este pozo. Debido a que en el cabezal del pozo SM-3 solamente había instalada la válvula maestra se procedió a desmontar la conexión T y válvula lateral del pozo SM-2 reinstalando la válvula lateral arriba de la válvula maestra del pozo SM-2 para seguridad del pozo. La conexión T fue instalada en el pozo SM-3 quedando el arreglo del cabezal de este pozo y su conexión al separador solo con válvula de control de 10". Mientras se realizaba esta operación, se movió la tubería HDPE de 10" del pozo SM-5 al SM-1 para conectar el pozo SM-3 con el pozo SM-1 y tener acceso al pozo de reinyección SM-4 a través de la tubería HDPE de 12". La tubería del pozo SM-5 se encontró afectado por incrustación de bicarbonato de amonio de la misma forma que se encontró afectado el cabezal del pozo SM-2. La remoción de la incrustación de bicarbonato de amonio fue realizado bajo la supervisión del consultor.

b) Bitácora de actividades de supervisión de obras.

- Los equipos para la prueba de producción en SM-5 fue desmantelamiento para ser trasladados e instalados en la plataforma del pozo SM-3.

- De igual forma que se hizo para el pozo SM-1, los equipos de prueba de producción (equipos e instrumentos en el cabezal del pozo, la tubería de alta presión que va del pozo al silenciador, el silenciador mismo y su equipo periférico) se instalaron en el lugar más apropiado y se llevó a cabo la supervisión de las obras de construcción centrándose en cerciorar la seguridad durante la ejecución de las pruebas.
- Instalación de tubería de HDPE de 10" desde el pozo SM-3 al pozo SM-1.
- Preparación del cabezal del SM-3 como fue explicado en párrafo a) anterior.

c) Productos

- El contratista de la construcción logro mejorar su rendimiento con el aprendizaje en actividades de los pozos anteriores.
- Los equipos de pruebas funcionaron tal como fueron diseñado y los resultados fueron como los esperados.

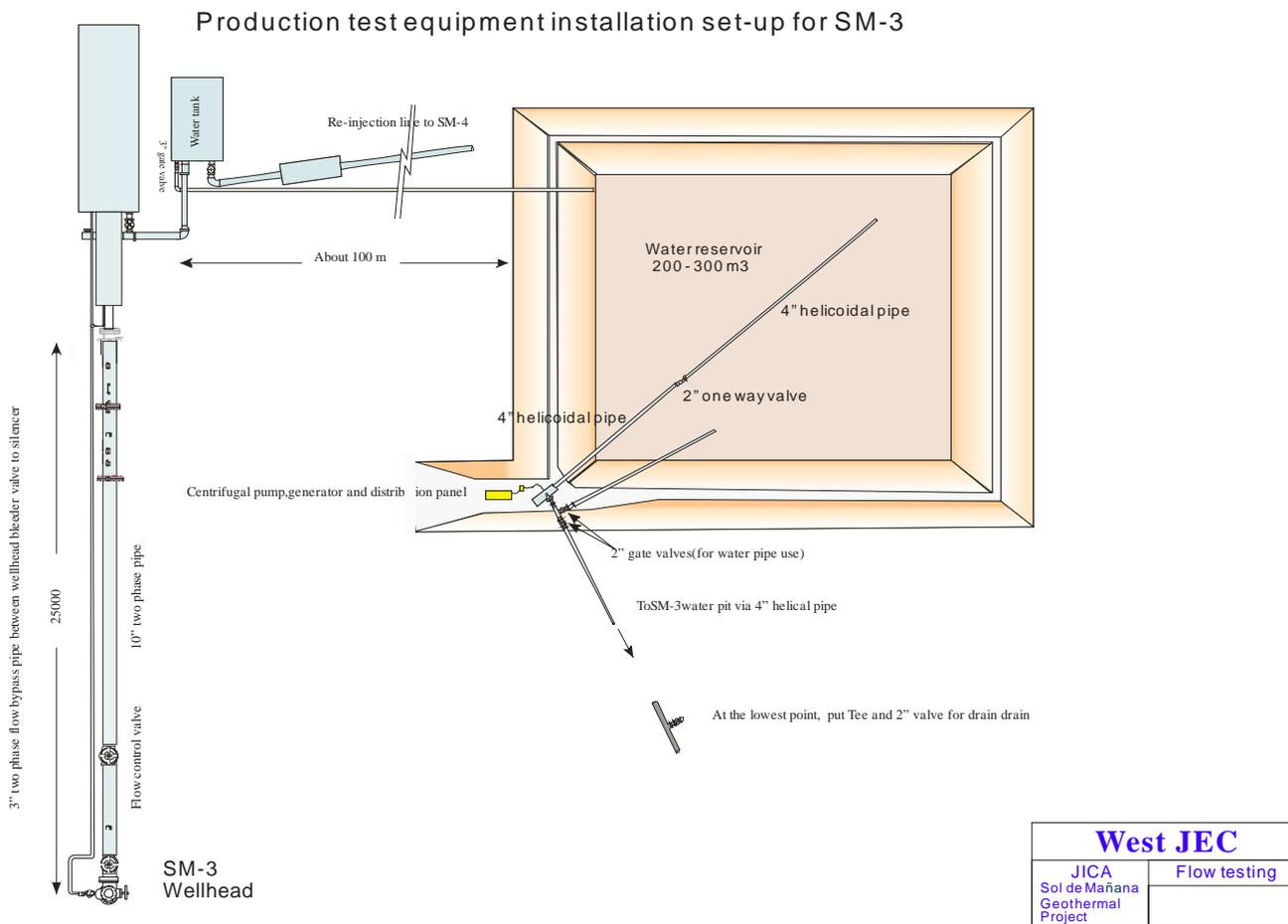


Figura 4-24 Diagrama de instalación de equipos en el pozo SM-3

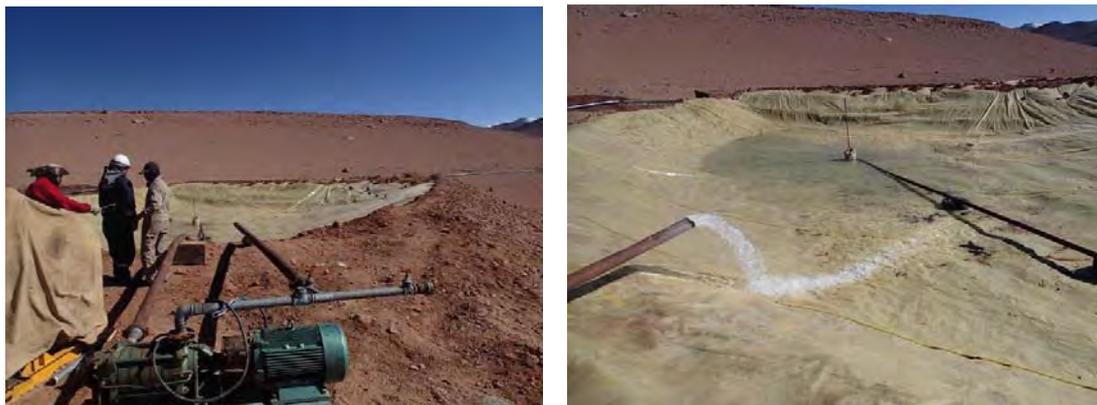


Figura 4-25 Fosa de almacenamiento de agua junto al pozo SM-3

4.2.9 Desmantelamiento en SM-3 e instalaciones en pozo SM-2

a) Objetivo

Posterior a terminar las pruebas en el pozo SM-3, se procedió a continuar las actividades de pruebas de producción en el pozo SM-2 con la movilización de forma ordenada de los equipos y materiales a este pozo. También se realizó la relocalización al pozo SM-2 de la tubería HDPE de 10" instalada del pozo SM-3 a pozo SM-1. También se construyó una fosa de almacenamiento de agua junto al pozo SM-2 para llenarla de agua almacenada en la fosa junta a pozo SM-3 y utilizar al en la remoción de incrustación de bicarbonato de amonio encontrada en el pozo SM-2. Para este motivo se instaló junto al pozo SM-2 un arreglo de bomba y tubería de alta presión. Todas estas operaciones fueron supervisadas desde el consultor.

b) Bitácora de actividades de supervisión de obras.

- Desmantelamiento de equipos y materiales del pozo SM-3 e instalación en el pozo SM-2.
- Construcción de la fosa de almacenamiento de agua junto al pozo SM-2 e instalación de bombas y tuberías para llevar agua desde la fosa de almacenamiento del pozo SM-3 y de tuberías y bomba de alta presión en la plataforma del pozo SM-2 para matarlo y poder cambiar la válvula maestra que se encontró dañada (referirse a la Figura 4-26).
- Después de asegurar la remoción de la incrustación en el pozo SM-2 se realizó el cambio de la válvula maestra de este pozo substituyéndola por la válvula superior de 10" del pozo SM-5 y reinstalando la conexión T que se había llevado al SM-3.
- Se selecciono la posición y se instalaron en ellas, el equipo de separación y los equipos e instrumentación periféricos para las pruebas tales como tubería de alta presión entre el cabezal y silenciador, silenciadores mismos, instrumentación, etc. Todo esto fue supervisado por el consultor con el fin de procurar la seguridad durante la ejecución de las pruebas de producción.
- Instalación de la tubería HDPE de 10" desde el pozo SM-2 al pozo SM-1. Todas estas operaciones fueron supervisadas manteniendo como un objetivo principal la seguridad de las operaciones.
-

c) Productos

- La encrustacion de bicarbonato de amonio afectaba el cabezal y la válvula del pozo SM-2 y el pozo SM-5 resultado que era hidrosoluble se podia eliminar con agua de alta prescion.
- Los tres maquinas principales funciono de acuerdo al diseño y los resultados del prueba de

fueron **Kill well operation equipment set-up at SM-2** producción los esperados.

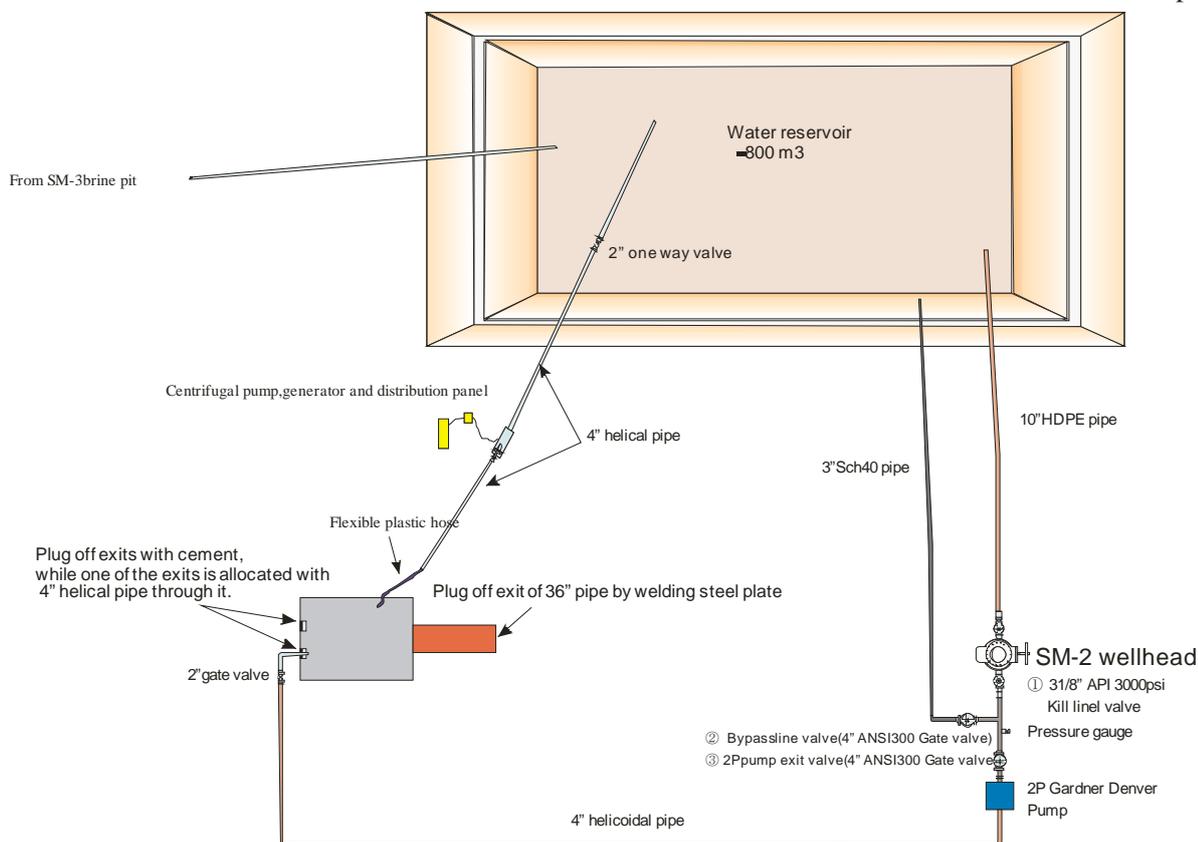


Figura 4-26 Instalación para la remoción de incrustación en el pozo SM-2

4.2.10 Desmantelamiento de equipo de la plataforma del pozo de SM-2

a) Objetivo

Supervisión de desmantelamiento de equipos y materiales desde la plataforma de los pozos SM-1, SM-3, SM-2.

b) Bitácora de actividades de supervisión de obras

Se decidió dejar los equipos instalados en el pozo SM-2, con excepción de los instrumentos electrónicos e instrumentos de medición.

c) Productos

El tendido de tubería desde el pozo SM-2 hasta el pozo SM-4, se dejó tal cual fue instalado, con el fin de proporcionar facilidad de transportar fluido en caso de necesidad de abrir el pozo a través de la válvula lateral de 3”.

4.2.11 Característica de cada pozo a través de las pruebas de producción

a) Objetivo

- Definir las características de producción de cada pozo, mediante las pruebas de producción en SM-1, SM-3 y SM-2 en el campo geotérmico Sol de Mañana

b) Estado de Implementación

- Medición automática de presión de boca de pozo, presión y temperatura de línea de flujo, presión diferencial de placa de orificio, presión de labio. Instalación del instrumento vortex entre el separador y el tanque de agua para la medición automática del flujo de salmuera. Al mismo tiempo, medición manual según la necesidad del flujo de salmuera en el vertedor de salmera.
- Medición de flujo en dos fases o de salmuera en la línea de flujo mediante TFT (sistema de medición de flujo en dos fases mediante el trazador químico)
- La cantidad de flujo en las pruebas de producción (en cada pozo) se determina por 4 diferentes tamaños de orificio de control, instalados cerca de la válvula de control de flujo; 2"Φ, 4"Φ, 6"Φ, 10"Φ. Para cada flujo, se aplicó el método del tubo de James entre 6"Φ, 8"Φ, o 10"Φ.
- Se aplicó el método de placa de orificio de medición de 8"Φ, excepto en el caso de la producción máxima (placa de orificio de medición de 10"Φ). En la producción máxima, en algunos casos se aplicaron diámetros de 9"Φ.

c) Resultado

- En cada pozo, excepto en los casos de producción inicial (placa de orificio de medición de 2"Φ), se observa la evolución del flujo estable y el resultado de la medición es confiable.
- Cuando la temperatura atmosférica es de 0 grados (de medianoche a madrugada), la línea entre los sensores y los equipos de medición se congelaron. En tal caso, se utilizó el líquido de movilización de tipo grasa para resolver el problema de congelación.
- La cantidad de salmuera en la tubería de alta presión se midió usando trazadores químico y posteriormente se hizo una medición manual de la fase líquida después de la separación atmosférica en el silenciador. La medición tomada manualmente en el vertedor se utilizó solo para referencia.
- La prueba de producción de SM-3 tuvo éxito y se aclaró su característica de producción por primera vez. Los resultados de las pruebas de producción de SM-1 y de SN-2 son consistentes a los resultados de las pruebas de producción en pasado. La última prueba de producción de SM-1 fue aproximadamente hace 25 años, y la de SM-2 fue 15 años. A pesar de eso, se mantiene la capacidad de producción y el estado de fondo de los pozos se mantienen igual desde el momento de la perforación.

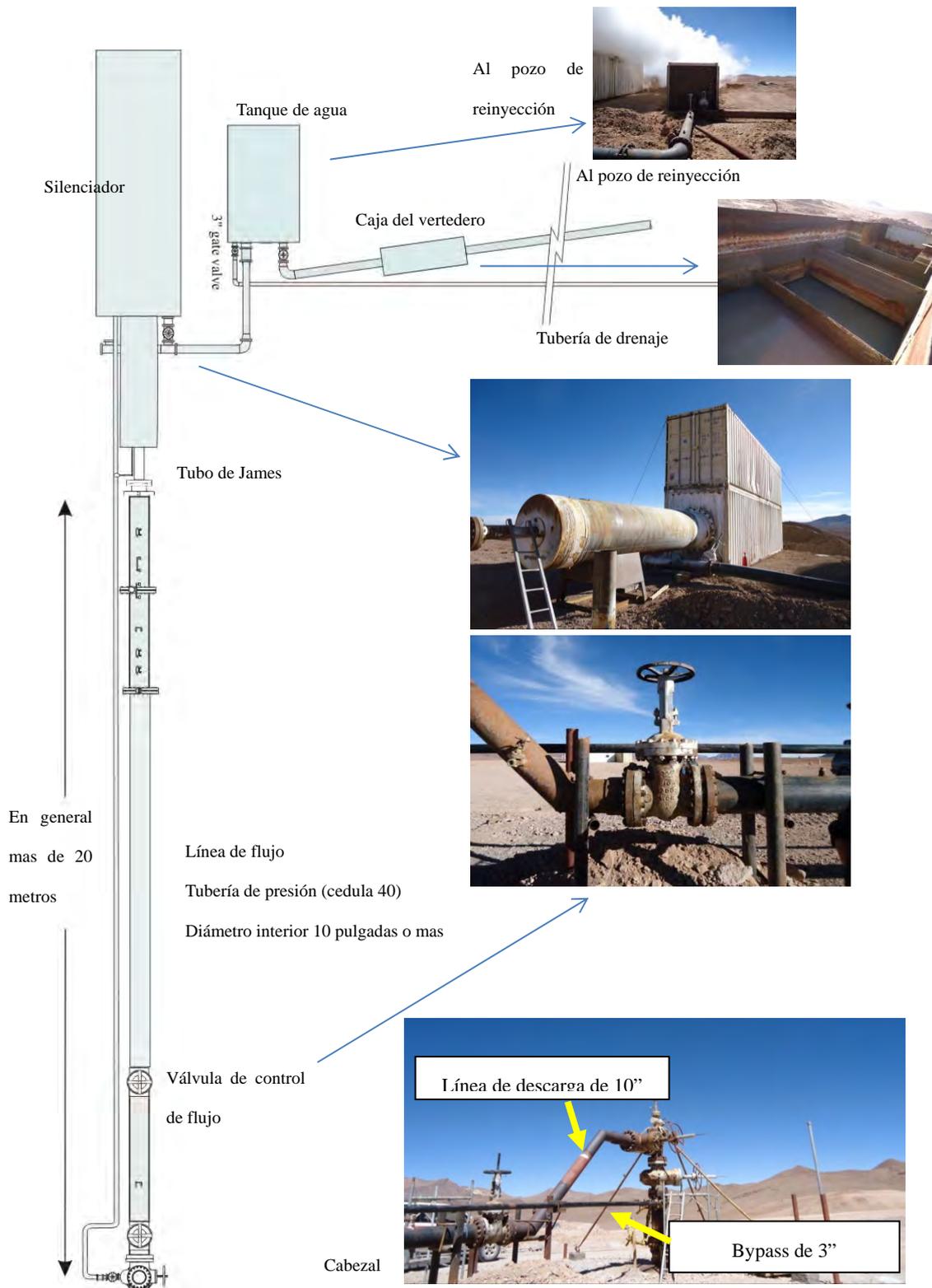


Figura 4-27 Instalaciones superficiales para la prueba de pozo

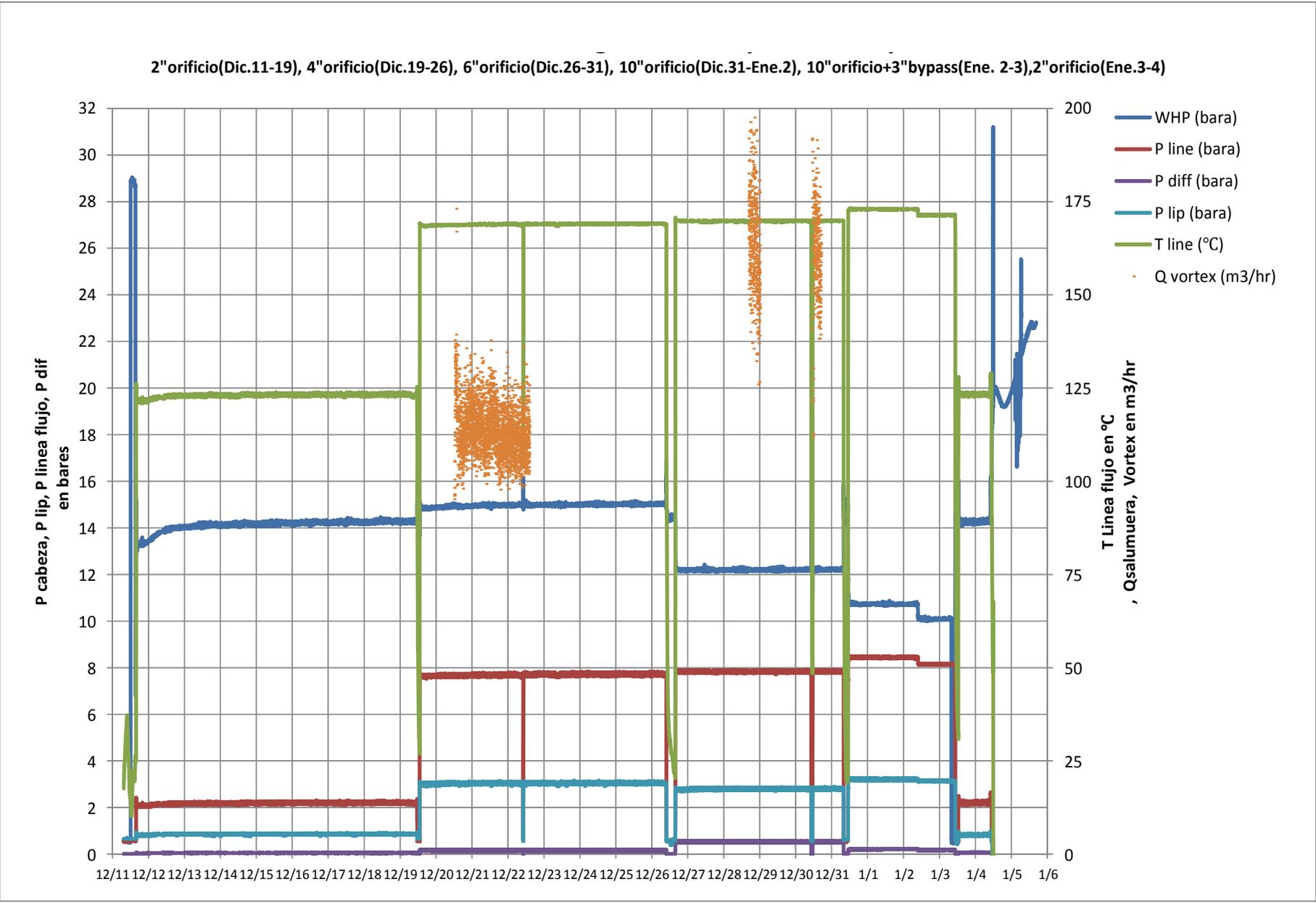


Figura 4-28 Resultado de prueba de producción en SM-1

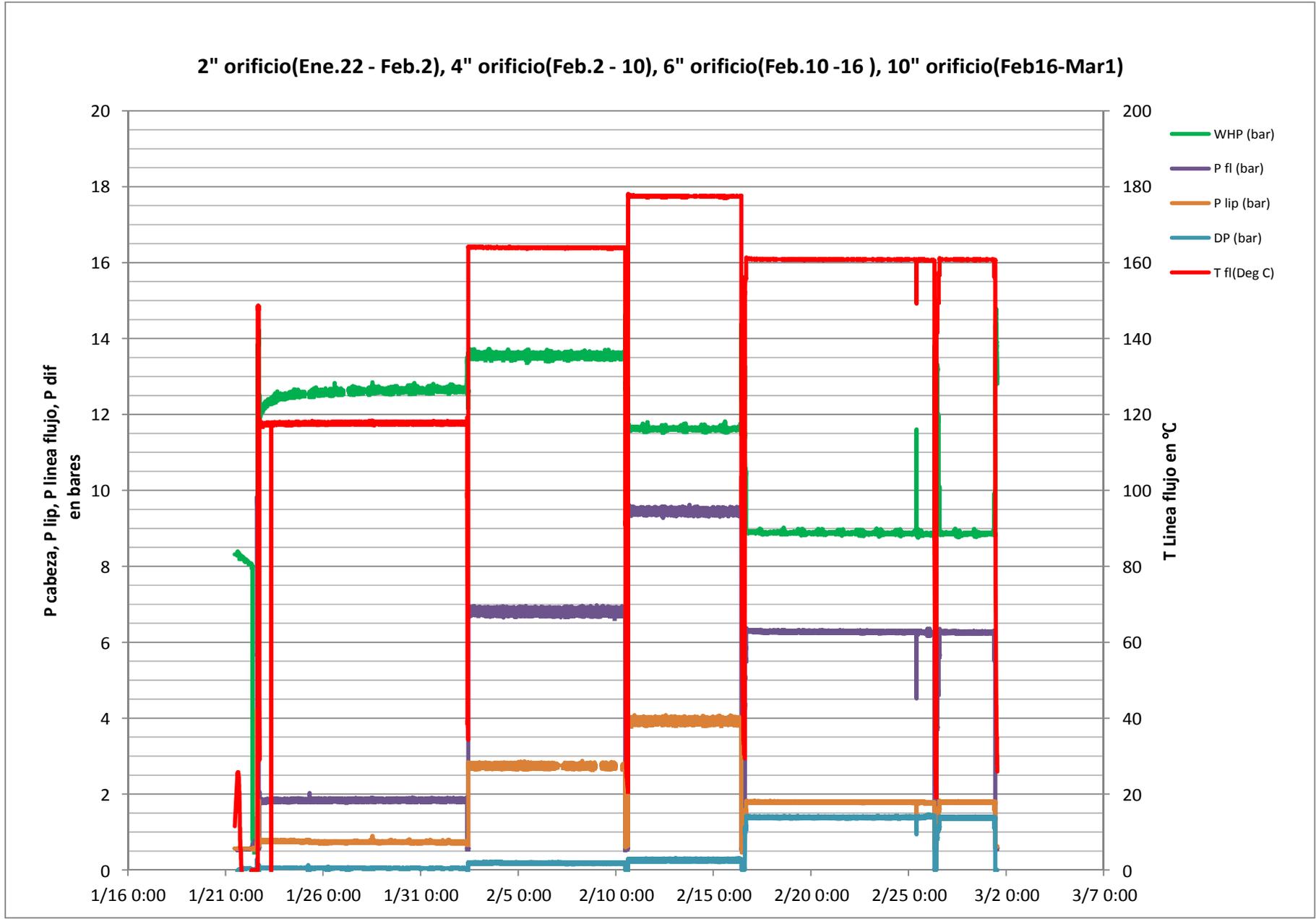


Figura 4-29 Resultado de prueba de producción en SM-3