

4.3 Transferencia de tecnología en la evaluación de yacimiento geotérmico

a) Objetivo

- En el año 2007 bajo el patrocinio de JETRO se llevó a cabo un estudio de factibilidad del proyecto geotérmico de Sol de Mañana. Dentro de este estudio se hizo la evaluación del recurso geotérmico del campo mediante simulación numérica (de aquí en adelante referido como “estudio del 2007”). El modelo numérico desarrollado para ese estudio fue actualizado con información obtenida del resultado de pruebas de pozos realizadas en dentro del periodo de diciembre 11 de 2012 a abril 28 de 2013. Con esta información y actualización de del modelo el potencial del recurso fue re-examinado.

b) Estado de implementación

- Actualización del modelo numérico
- Calibración de estado natural
- Calibración de datos históricos de producción
- Reevaluación del potencial del recurso geotérmico

c) Resultado

El resultado de reexaminación de la evaluación existente de recursos geotérmicos a través de la actualización del modelo numérico del yacimiento, utilizando los datos de pruebas de producción adquiridos en el presente proyecto es el siguiente:

- ① El recurso geotérmico en Sol de Mañana es suficiente para sostener generación de potencia equivalente a 100MW por 30 años.
- ② En el caso de una explotación de 100MW si se explota el campo usando una zona de reinyección adecuado, se requerirá de 14 pozos de producción iniciales más 7 pozos de producción de reposición.
- ③ En el caso de una explotación por etapas de 50MW cada una se requieren de 7 pozos de producción para el arranque y 8 pozos de reposición durante la explotación de 30 años para una reinyección apropiada.
- ④ Aun cuando el pozo SM-4 resulto de excelente permeabilidad, debido a la aparente existencia de una barrera hidrológica entre la zona de producción y la zona del pozo SM-4, reinyectar en esta zona presenta desventajas de soporte de presión al yacimiento. Sin embargo, la periferia de este pozo tiene una buena permeabilidad, las líneas de tubería para la reinyección desde la zona de producción principal se ha completado, y será preferible utilizar lo como un pozo de re-inyección de baja temperatura. Utilizando el pozo SM-4 como un pozo de re-inyección de baja temperatura, se contribuye a reducir el costo para la perforación de un pozo de re-inyección adicional.
- ⑤ Ubicando la zona de reinyección al sur de la zona de producción presenta mejores posibilidades de

soporte depresión al yacimiento, sin embargo se requerirá de un monitoreo químico intensivo para plantear un manejo adecuado del yacimiento en el caso de invasión de fluidos re reinyección con enfriamiento del yacimiento de producción.

- ⑥ No es necesario modificar las conclusiones del informe del 2007 y reconsidere el plan de desarrollo del campo geotérmico de Sol de Mañana.

4.3.1 Malla numérica y condiciones de frontera

El modelo numérico desarrollo en 2007 y el utilizado en el presente estudio son de la misma dimensión horizontal y vertical, sin embargo el utilizado en el presente estudio tiene una malla más fina para poder representar a más detalle la estructura geotérmica del yacimiento, ver Tabla 4-13. En sentido vertical el número de capas en que se dividió el modelo es similar a la del modelo del 2007, sin embargo, el espesor de algunas de ellas es diferente como se muestra en la Figura 4-65 y Figura 4-66.

En el modelo utilizado en esta actualización (de aquí en adelante referido como modelo del 2013) los elementos correspondientes a las fronteras preservaron las dimensiones del modelo del 2007. La discretización en la vecindad de los pozos se hizo más fina, especialmente para el caso del pozo SM-4 se hizo necesario, ya que las mediciones llevadas a cabo durante este estudio revelaron que el pozo posee una excelente permeabilidad y el área vecina un buen prospecto para la reinyección, información que no estaba disponible para la preparación del informe del 2007.

Tabla 4-13 Comparación de los modelos del 2007 y del 2013

	Modelo 2007	Modelo 2013
Ancho total (Dirección X)	15,000	15,000
Longitud total (Dirección Y)	13,000	13,000
Espesor total (Dirección Z)	2,800	2,800
No. elementos en dirección X	20	27
No. elementos en dirección Y	20	29
No. elementos en dirección Z	10	10
Total No. de Celdas	4,400	7,830

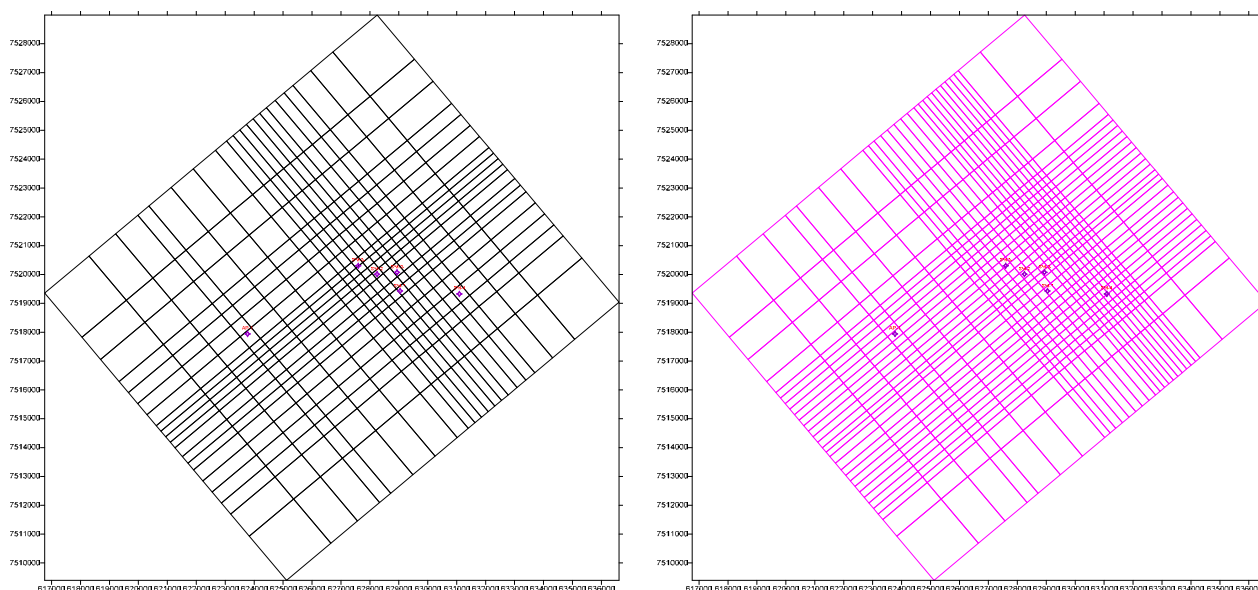


Figura 4-65 Vista de planta de las mallas; modelos numéricos del 2007 (izquierda) y 2013 (derecha)

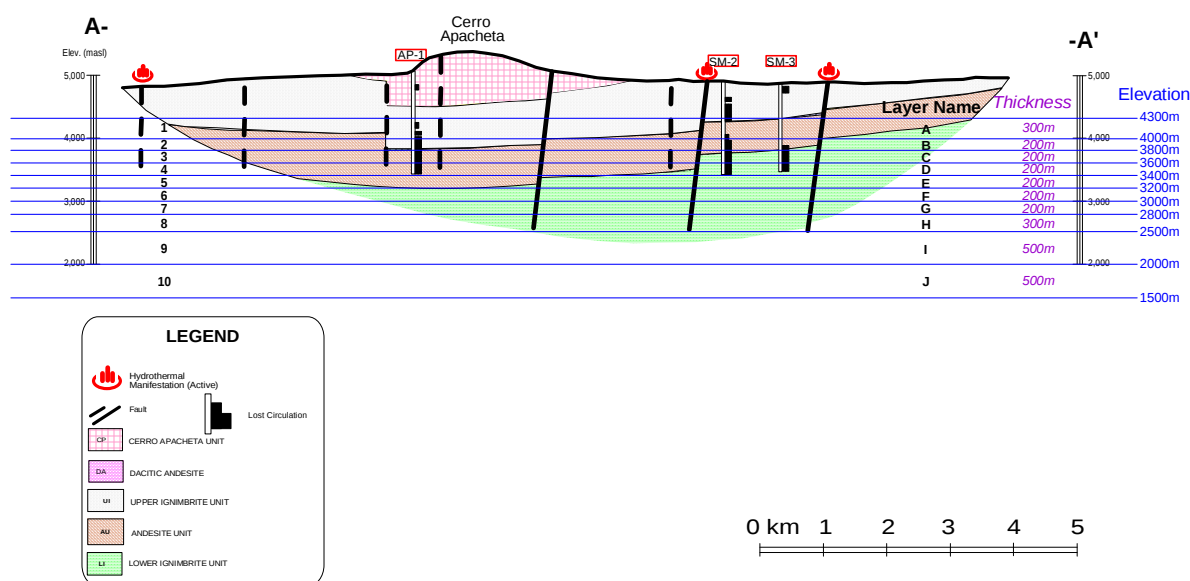


Figura 4-66 Sección vertical de la malla del modelo numérico

Las condiciones de frontera del modelo del 2013 son básicamente las mismas que las del modelo del 2007. Las fronteras laterales y la superior son abiertas mientras que la frontera inferior es cerrada, con excepción de los elementos que sirven para simular la entrada de fluido geotérmico de alta temperatura. A los elementos de la frontera superior se les asignaron condiciones de temperatura y presión fijas mientras que a los elementos de las fronteras laterales se les asignaron condiciones de presión hidrostática y de temperatura de valor fijo. Las fuentes de masa y calor se les localizaron en la frontera inferior en una posición correspondiendo a la posición en superficie de las manifestaciones hidrotermales de Sol de Mañana y del pozo AP-1.

4.3.2 Calibración de Estado Natural

La distribución inicial de permeabilidades al inicio del proceso de calibración fue similar a la que se utilizó en el 2007. El proceso de calibración requirió un sinnúmero de corridas de simulación, modificando la distribución de permeabilidades en cada elemento de la malla hasta que los perfiles de temperatura y presión calculados para los pozos, coincidieron con aquellos medidos durante las pruebas de los pozos llevadas a cabo en el año 2013. Debido a que la discretización de la malla es más fina en el modelo del 2013, las temperaturas y presiones calculadas para la misma distribución de permeabilidades, resultó un poco diferente que aquellos calculados con el modelo del 2007. Cabe hacer notar que a diferencia de lo establecido para el modelo del 2007, la distribución de permeabilidades en la vecindad del pozo SM-4 es superior a las utilizadas en el modelo del 2007. Los resultados de esta calibración se presentan en la Figura 4-67.

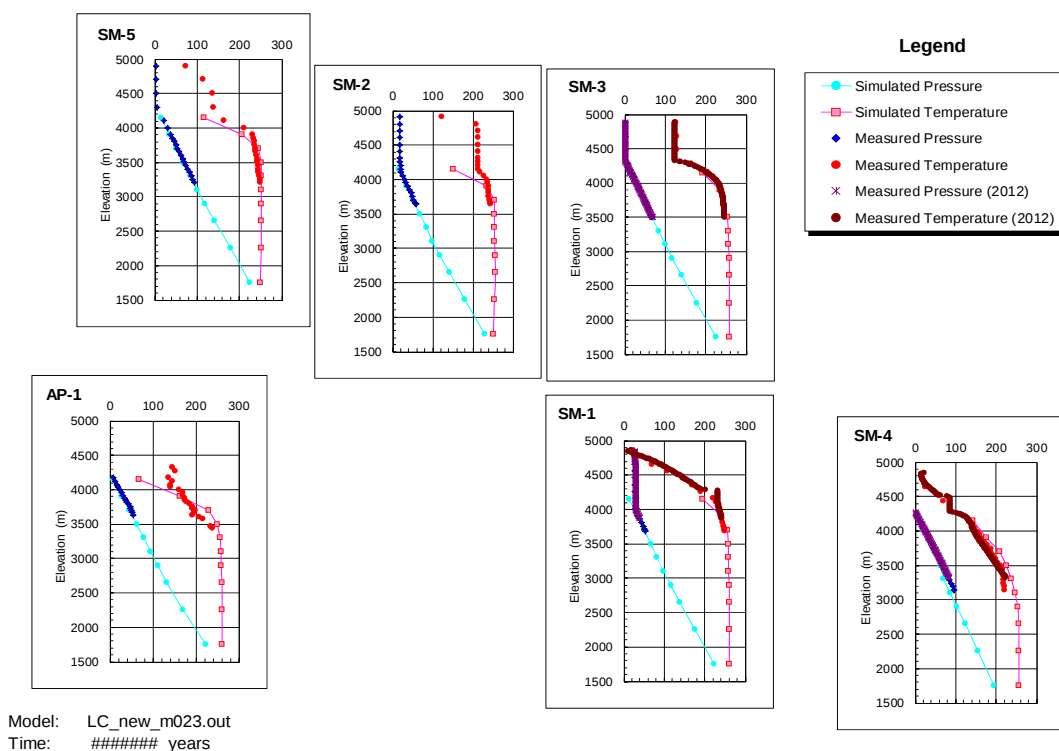


Figura 4-67 Resultado de la calibración en estado natural del modelo del 2013

Las distribuciones de permeabilidad por capa del modelo, resultantes del proceso de calibración en estado natural se muestran de la Figura-68 a la Figura 4-72. En estas figuras también se muestran las zonas de aporte de los pozos existentes y de los pozos de reposición usados en la simulación de la predicción (descrita en párrafos posteriores). También se explica posteriormente, el modelo de distribuciones de rocas como la figura 4-69 representa el caso 1 y 3 y la figura 4-70 el caso 2 y 4.

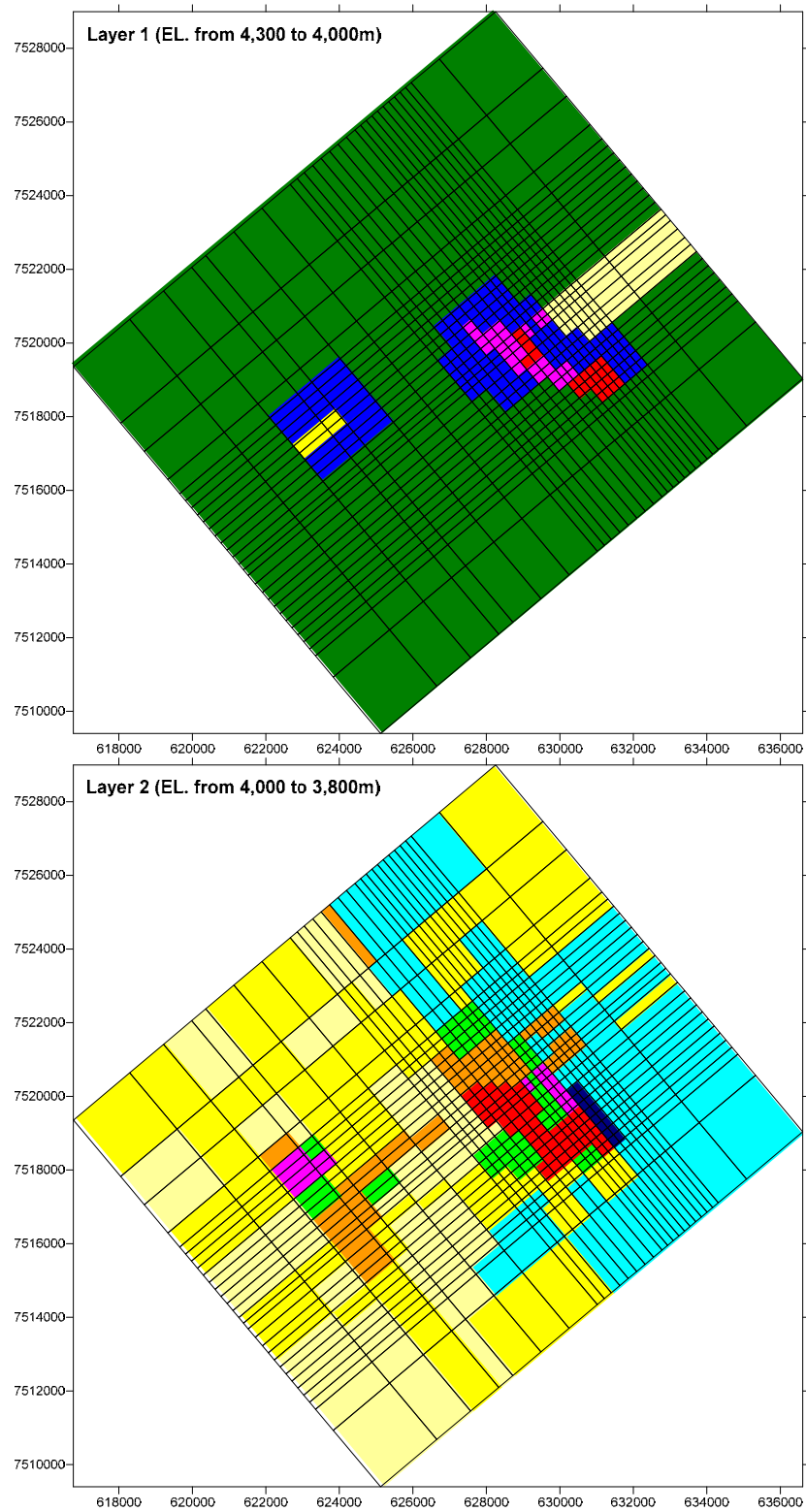


Figura 4-68 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-1 y Capa-2)

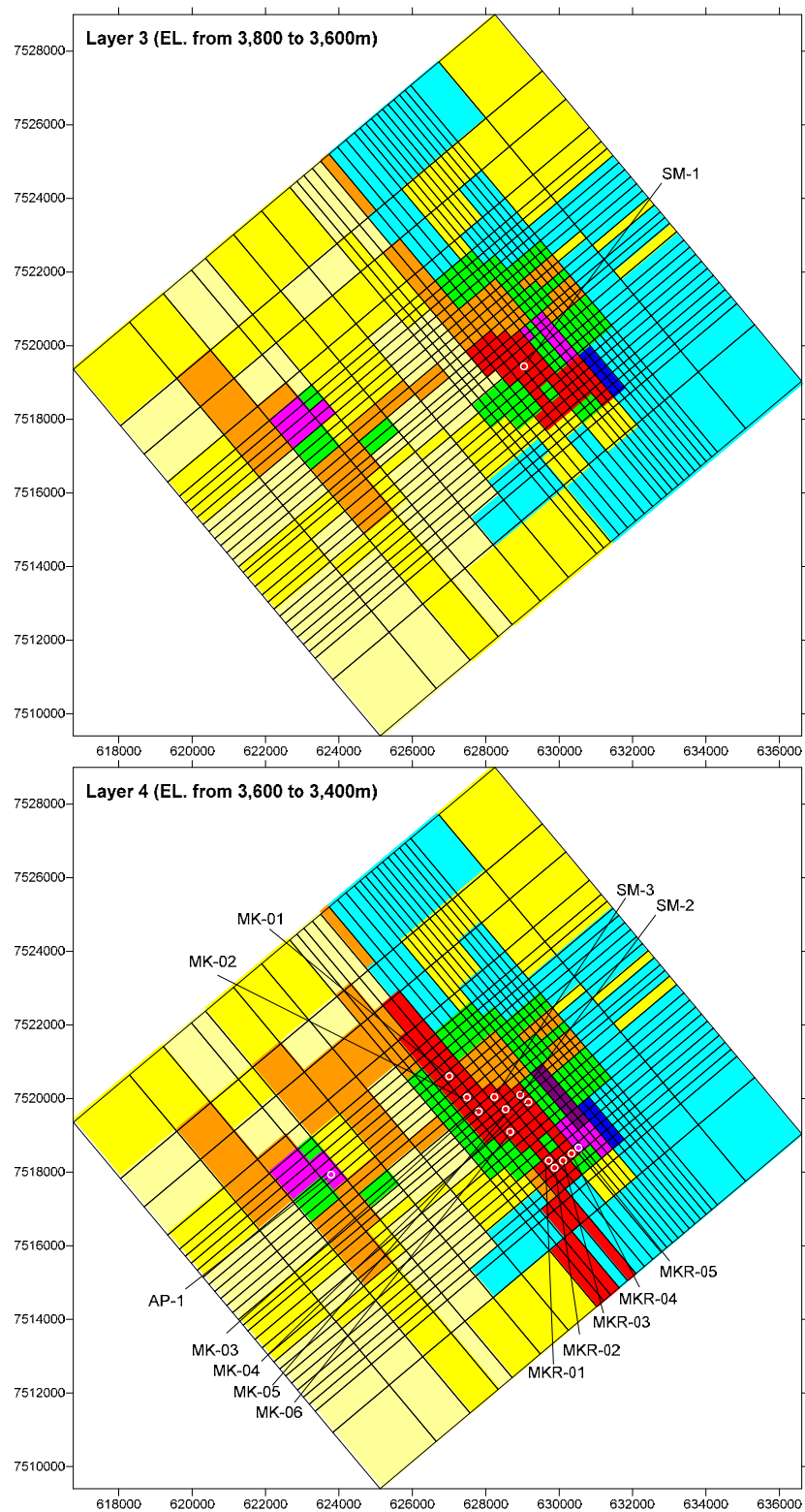


Figura 4-69 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-3 y Capa-4)

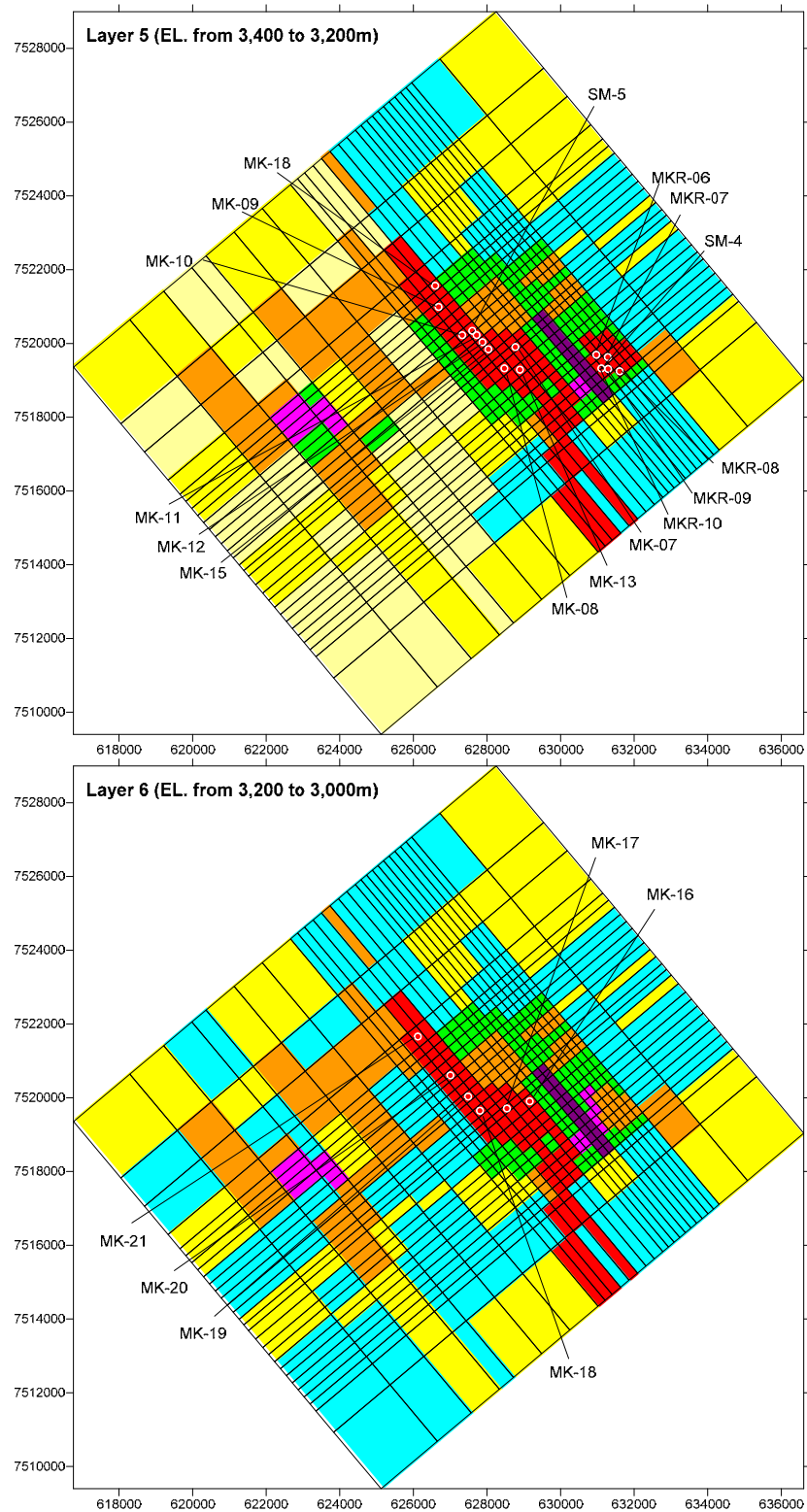


Figura 4-70 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-5 y Capa-6)

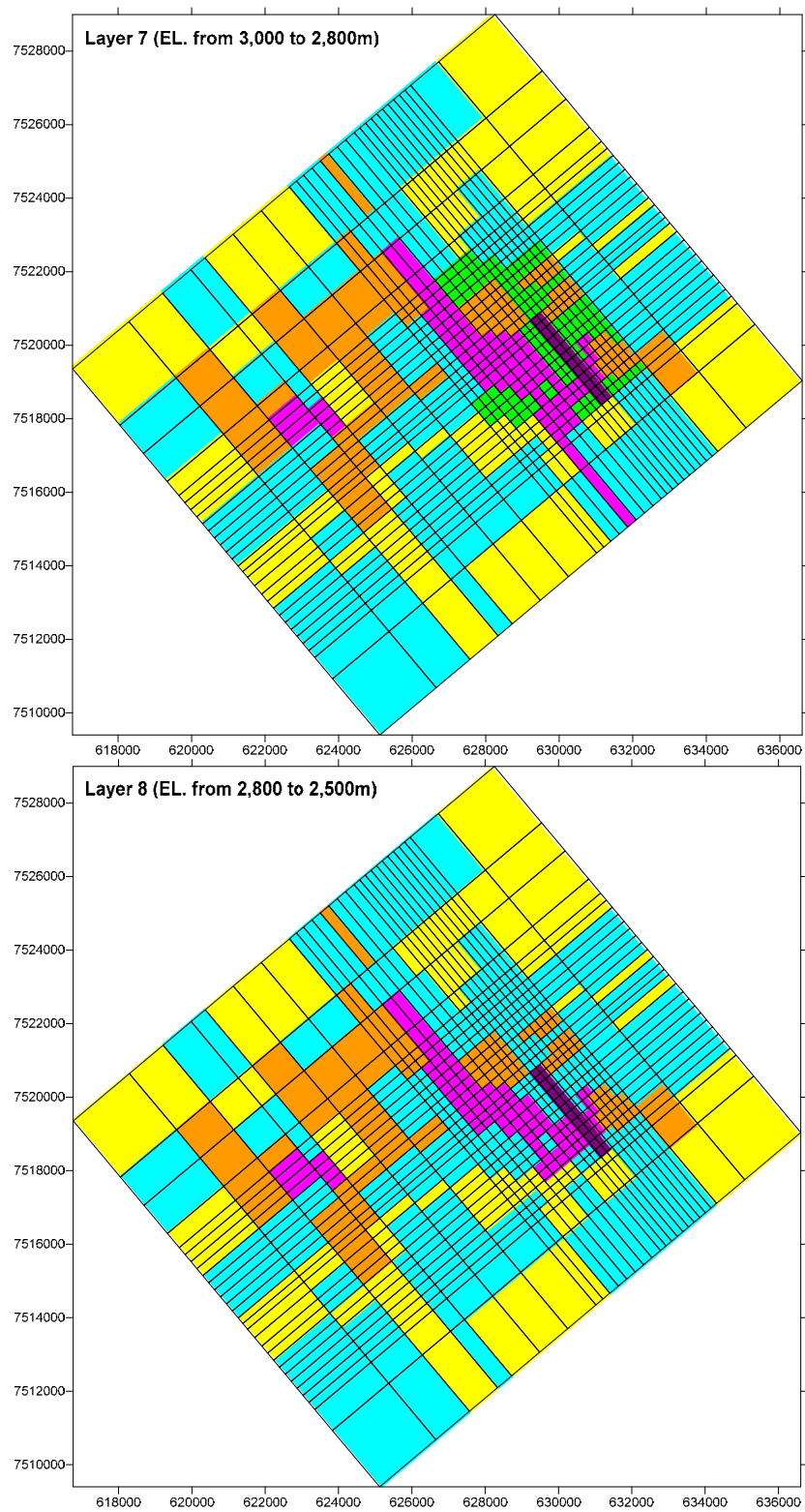


Figura 4-71 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-7 y Capa-8)

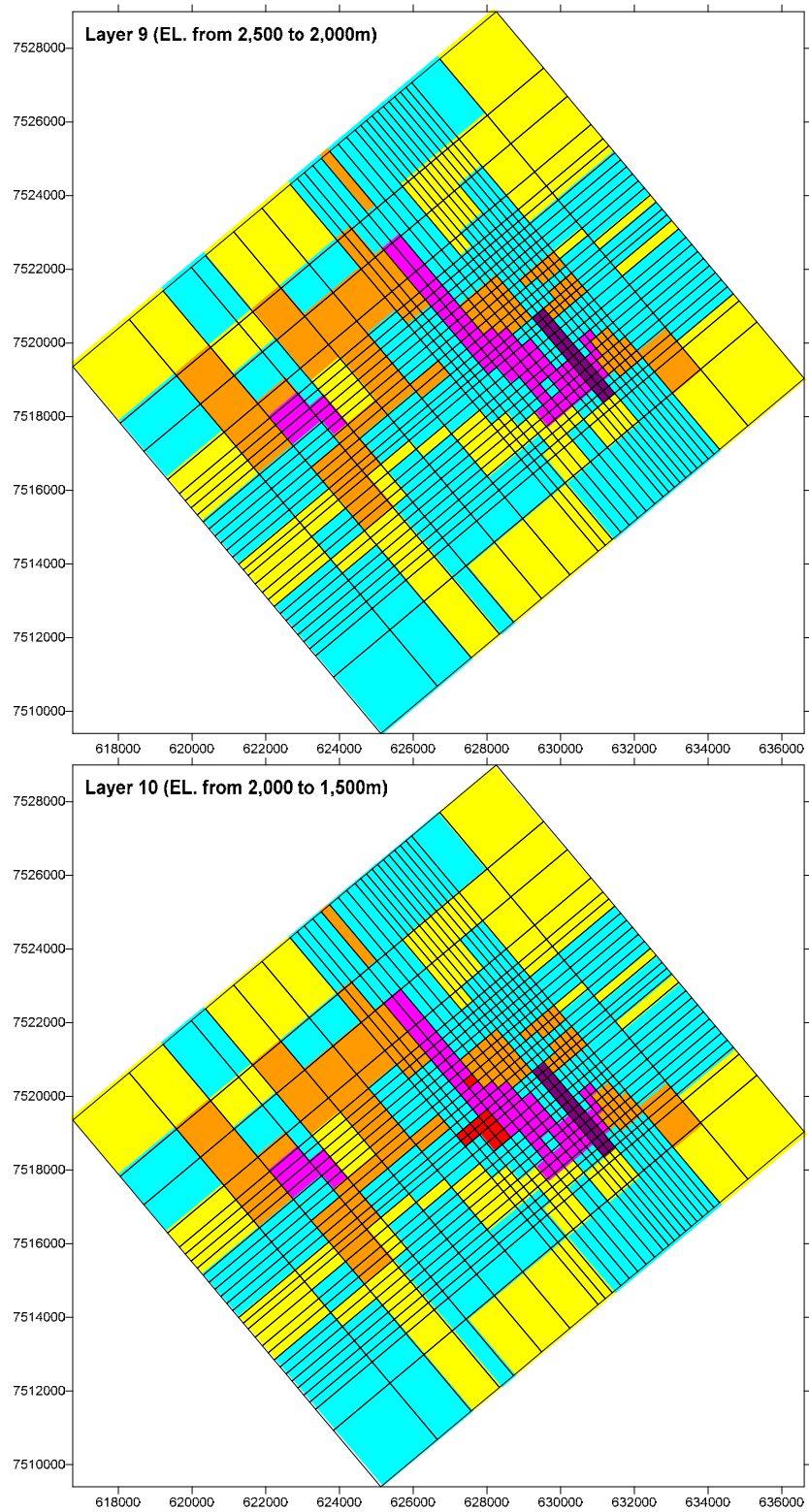


Figura 4-72 Distribución de propiedades de roca modelo 2013 (Capa-9 y Capa-10)

Tabla 4-14 Valores de las propiedades de roca resultantes para el modelo 2013

No. of Materia	12	Density	Porosity	Permeability			Cond.	Spec.Heat
		(kg/m ³)	(-)	(x10 ⁻¹⁵ m ²)			(W/m°C)	(J/kg°C)
				X	Y	Z		
MAT01		2500.0	0.10	100.0000	100.0000	25.0000	2.20	830.0
MAT02		2500.0	0.10	10.0000	10.0000	5.0000	2.20	830.0
MAT03		2500.0	0.10	10.0000	10.0000	10.0000	2.20	830.0
MAT04		2500.0	0.10	5.0000	5.0000	0.5000	2.20	830.0
MAT05		2500.0	0.10	0.5000	0.5000	0.2500	2.20	830.0
MAT06		2500.0	0.10	2.0000	2.0000	0.4000	2.20	830.0
MAT07		2500.0	0.10	0.2000	0.2000	0.1000	2.20	830.0
MAT08		2500.0	0.10	0.5000	0.5000	0.2500	2.20	830.0
MAT09		2500.0	0.10	0.1000	0.1000	0.1000	2.20	830.0
MAT10		2500.0	0.10	0.0100	10.0000	0.0100	2.20	830.0
MAT11		2500.0	0.10	0.0100	0.0100	0.0010	2.20	830.0
MAT12		2500.0	0.10	0.0100	0.0100	0.0010	2.20	830.0

4.3.3 Calibración a datos históricos de producción

Durante el periodo de 1989 a 1990 y después en 1997 se llevaron a cabo sendas campañas de pruebas de producción en los pozos del campo geotérmico de Sol de Mañana. Durante la primera campaña los pozos SM-1 y SM-3 funcionaron como pozos de observación de variaciones de presión durante las pruebas de producción del pozo SM-2; sin embargo, la calidad de los datos de presión resultó un tanto pobre, por lo que no se les utilizó en la calibración del modelo. Durante la segunda campaña de mediciones los pozos SM-2 y SM-5, éstos fueron puestos en producción en diferentes periodos para la medición de la masa, así como de la entalpía y parte de la salmuera fue reinyectada en el pozo SM-4. Durante las pruebas de producción se hicieron mediciones de presión de fondo en los pozos SM-1 y SM-3.

Los resultados de la calibración del modelo con los registros de presión tomados en los pozos SM-1 y SM-3 en 1997 se muestran en la Figura 4-73y en la Figura 4-74, respectivamente. Los resultados de calibración de los registros de entalpía en el pozo SM-2 y SM-5 se muestran en la Figura 4-75 y en la Figura 4-76, respectivamente.

De diciembre del 2012 a abril del 2013 se realizaron nuevas pruebas de producción en los pozos existentes. La Tabla 415 hace un resumen de estas actividades. El modelo numérico desarrollado para este estudio fue también sujeto a calibración usando estos nuevos datos, cuyos resultados de la calibración de las entalpías medidas en los pozos SM-1, SM-3 y SM-3 se muestran de la Figura 4-77 a la Figura 4-79. Como se puede observar, la correspondencia entre de los datos calculados y medidos es aceptable.

Tabla 4-15 Monitoreo de presión durante las pruebas de producción del 2012

Pozo Productor	Duración	Pozo de observación
SM-1	Dic. 11, 2012 - Ene. 5, 2013	SM-3
SM-3	Ene. 22, 2013 - Feb. 20, 2013	SM-1
SM-2	Abr. 4, 2013 - Abr. 28, 2013	SM-1 (Abr. 1 - Abr. 10) SM-3

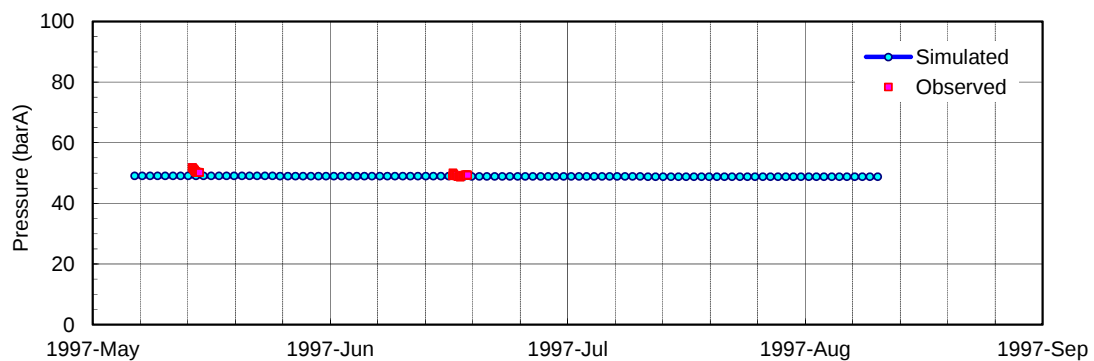


Figura 4-73 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-1 (2007)

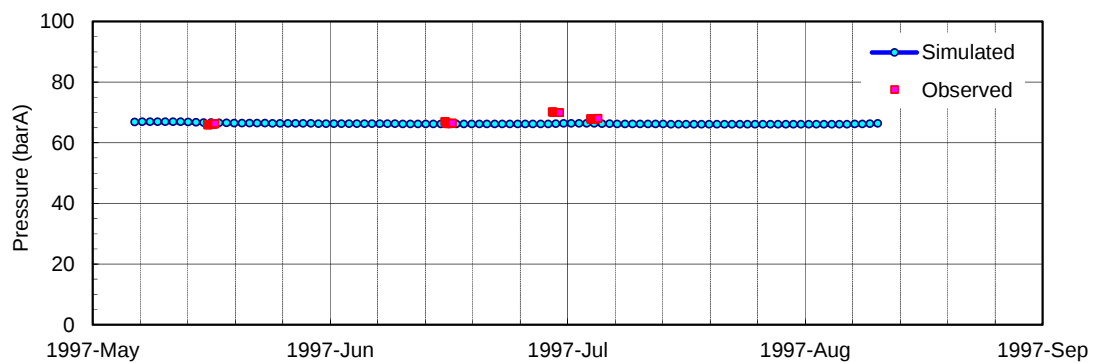


Figura 4-74 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-3 (2007)

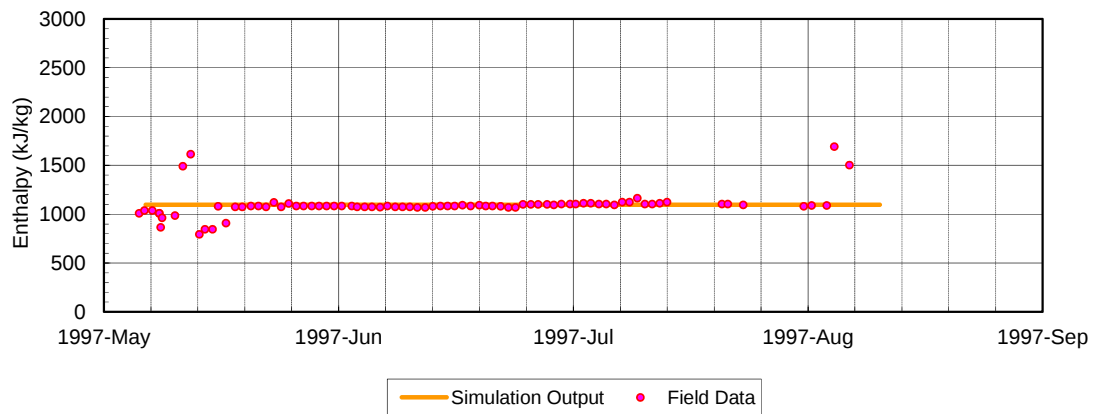


Figura 4-75 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-2 (2007)

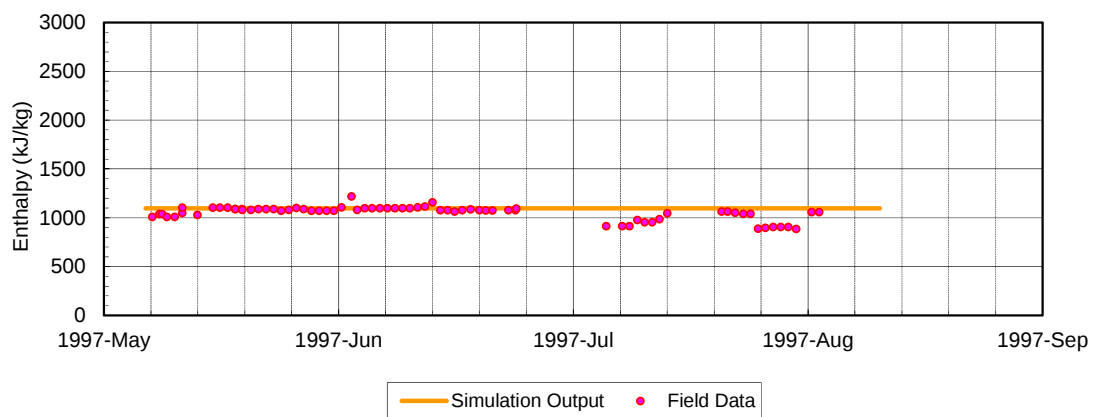


Figura 4-76 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-5 (2007)

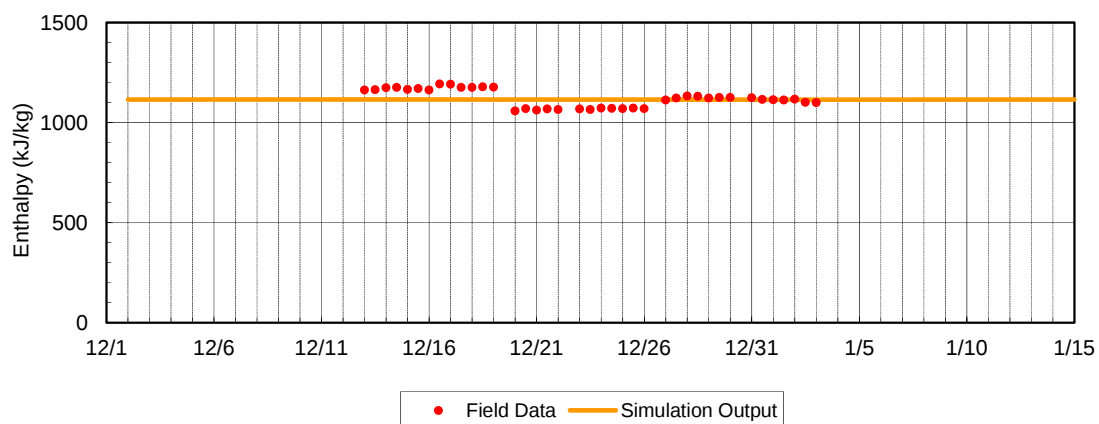


Figura 4-77 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-1 en 2012

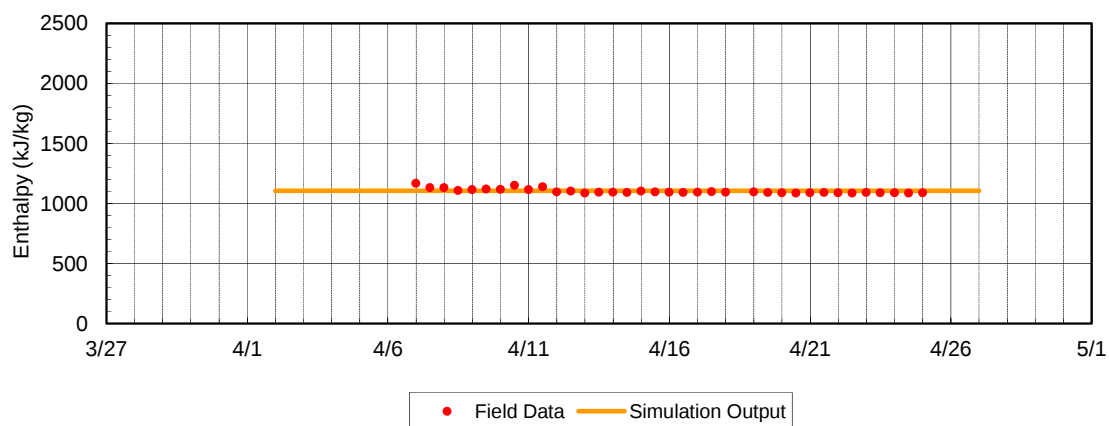


Figura 4-78 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-2 en 2012

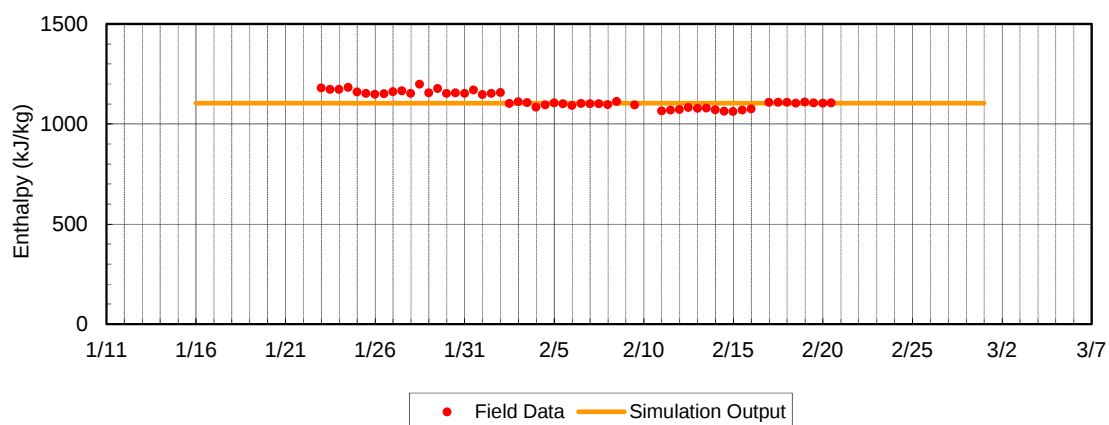


Figura 4-79 Resultados de la calibración a los registros de entalpía en el pozo SM-3 en 2012

Los resultados de la calibración de los resultados de las pruebas de interferencia llevadas a cabo durante la campaña de mediciones de pozos del 2013, se muestran de la Figura 4-80 a la Figura 4-83. Los cambios de presión observados corresponden a los variaciones diarias normales, más unos picos causados por los cambios de gas nitrógeno en la cámaras y capilares. No se observan cambios en la presión debidos a la producción en los pozos SM-1, SM-2 y SM-3. Esta observación sugiere que existe una alta permeabilidad en el estrato que se ubican los pozos. Las presiones calculadas por el simulador corresponden muy bien a las presiones observadas.

Igual que lo mencionado anteriormente, para el caso de los datos del 2007, el modelo numérico del 2013 es capaz de reproducir las condiciones naturales previos a la producción y las variaciones en la entalpía debida a la producción

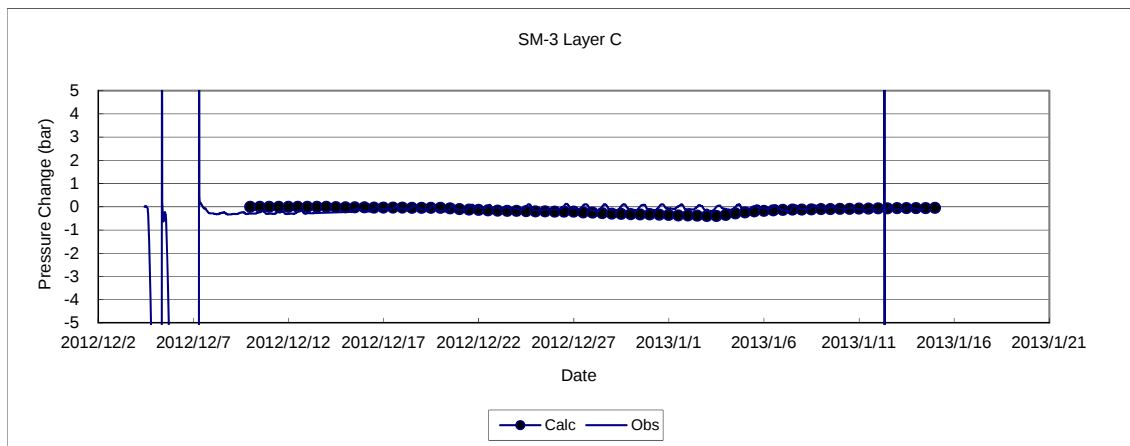


Figura 4-80 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-3 durante la producción del pozo SM-1 en 2012

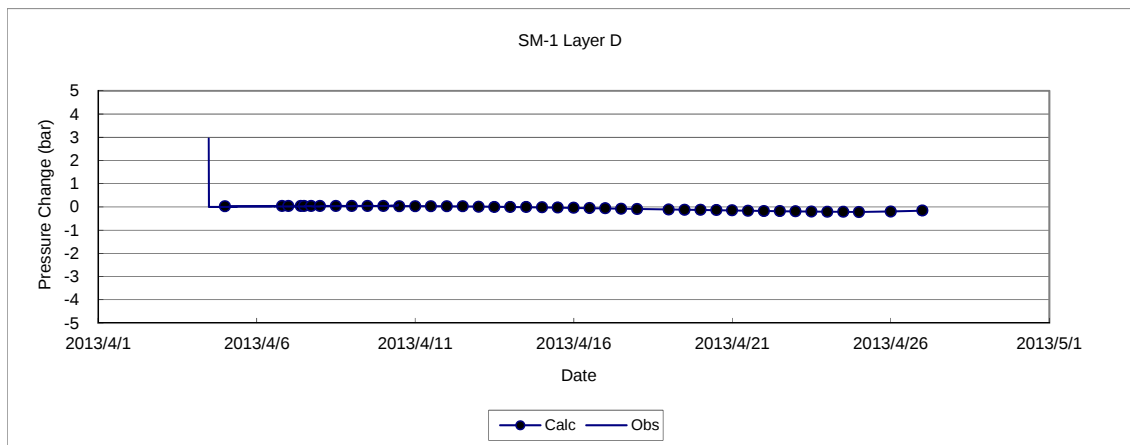


Figura 4-81 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-1 durante la producción del pozo SM-2 en 2012

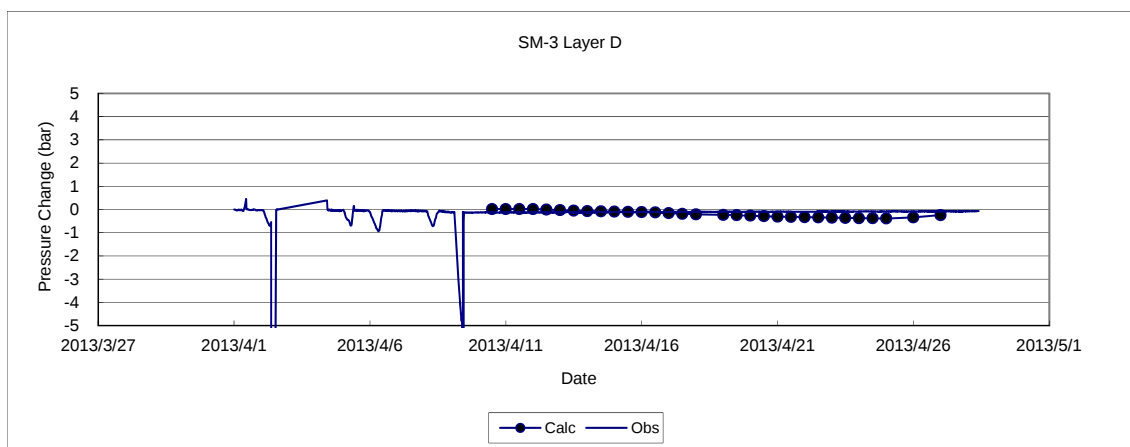


Figura 4-82 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-3 durante la producción del pozo SM-2 en 2012

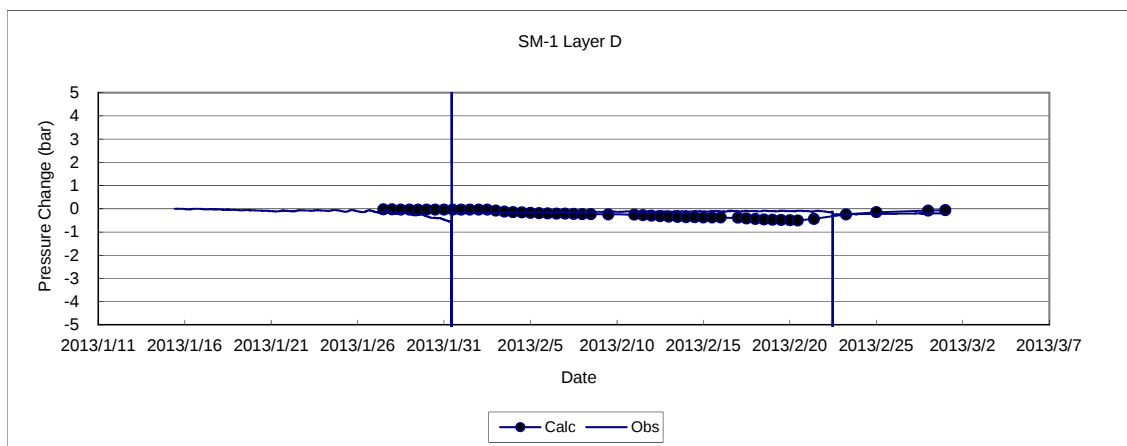


Figura 4-83 Resultados de la calibración a los registros de presión en el pozo SM-1 durante la producción del pozo SM-3 en 2012

4.3.4 Evaluación del potencial del recurso geotérmico

Posterior a la calibración del modelo calibrado en condiciones de estado natural y en condición de producción, se procedió a estimar el potencial del recurso geotérmico en Sol de Mañana, de tal manera que fuera posible sostener una generación de potencia constante a lo largo de 30 años.

El estudio realizado en 2007 hizo el análisis de la respuesta del yacimiento generando: 50 MW, 60 MW, 70 MW, 80 MW, 90 MW, 100 MW, 110 MW, 120 MW y 150 MW. Con diferente número de pozos, la simulación reveló que el yacimiento podía sostener 150 MW de generación eléctrica, sin embargo el número de pozos de reposición requerido para sostener cada una de estas capacidades de generación se incrementaba, en especial pasando de los 100 MW el incremento era notable. Este resultado llevo a la conclusión de que el desarrollo del campo de Sola de Mañana debería ser de 100 MW considerando también la limitante en el número de pozos ya perforados para asegurar la terminación del proyecto, así como la posibilidad de restricciones en la extensión del área de desarrollo. Básicamente son dos escenarios: 1) Generación de 100 MW desde el primer año hasta el año 30 y 2) generación de 50 MW los primeros 4 años y expansión a 100 MW desde el 5º año. Cada uno de estos escenarios tiene dos escenarios de reinyección, a) reinyección al sur de la zona de producción y b) reinyección en la zona del pozo SM-4, lo que en total resultan 4 escenarios, los cuales están resumidos en la Tabla 4-16.

Tabla 4-16 Escenarios adoptados en la simulación de predicción

	Magnitud del desarrollo	Área de Reinyección
Caso-1	100 MW (de los años 0 al 30)	Al sur del área de producción
Caso-2	100 MW (de los años 0 al 30)	Desde la plataforma del pozo SM-4
Caso-3	50 MW x 2 (50 MW por 4 años, 50 MW x 2 a partir del año 4 al año 30)	Al sur del área de producción
Caso-4	50 MW x 2 (50 MW por 4 años, 50 MW x 2 del año 4 al año 30)	Desde la plataforma del pozo SM-4

Nota: los grupos de generación de 100 MW y 50 MW son independientes de la composición del número de unidades. Los 100 MW pueden estar compuestos por una unidad de 100 MW, dos unidades de 50 MW o 4 unidades de 25 MW. La selección de la composición del número de unidades es tema del informe del 2010.

Para este estudio de predicción del comportamiento del yacimiento se utilizaron los mismos parámetros de simulación usados en el estudio del 2007. Se hizo una simulación inicial para determinar el número de pozos necesarios de arranque, con el fin de iniciar la generación de cada escenario base, y a la vez, se inició la simulación de predicción de comportamiento durante 30 años, permitiendo al simulador introducir los pozos de reposición cada vez que la producción de vapor del yacimiento fuera menor a la necesaria para sostener la capacidad de generación estudiada. Esto permite conocer el número de pozos totales (arranque más reposición) requeridos por cada escenario, y además permite compararlos, dado que el número de pozos estará relacionado al equivalente del costo de combustible en una planta térmica convencional.

La presión de cabezal en los pozos de producción es de 0.50 MPaG (0.56 MPaA) a lo largo del periodo de simulación. La presión de separación se estableció en 0.54M PaA. Se considera la reinyección total de la salmuera a 147 °C considerando que habrá un enfriamiento en la red de reinyección desde los 155 °C que es la temperatura de saturación a 0.54 MPaA. Se considera que la capacidad de aceptación de salmuera en los pozos de reinyección es de 500 t/h y que el consumo específico de vapor en la turbina es de 7.5 t/h/MW.

El valor del producto permeabilidad-espesor (kh) de los pozos existentes se determinaron con base en los resultados de las pruebas de producción de la campaña de mediciones del 2013. Los resultados del análisis de estas pruebas se muestran de la Figura 4-84 a la Figura 4-86. El valor “kh” para los pozos SM-1 y SM-2 fue evaluado en 100 darcy-m que es un valor de alta permeabilidad. Para los pozos de reposición se utilizó un valor “kh” de 20 darcy-m para estar dentro de lado seguro en la estimación de predicción.

La Figura 4-87 muestra los resultados de la simulación para el Caso-1, la cual es similar a la simulación realizada en el año 2007. En la presente simulación, 14 pozos de producción (4 existentes y 10 adicionales) resultaron necesarios para arrancar con una producción de 100 MW. Durante la operación de 30 años, 7 pozos de reposición resultaron necesarios. En la simulación del 2007, el resultado para los pozos de arranque fue similar, sin embargo durante la operación

de 30 años, el resultado fue de 8 pozos de reposición (referirse a la Tabla 4-17) para un total de 24 pozos. La diferencia de los dos cálculos es de un solo pozo y es atribuible a que esta vez se utilizó una discretización más fina, lo que a su vez permitió simular una mejor intercomunicación entre elementos del modelo numérico. Sin embargo se confirma que la capacidad del yacimiento es suficiente para sostener 100 MW de generación de potencia durante los 30 años de producción de una planta.

La Figura 4-88 muestra los resultados de la simulación del Caso-2, en donde solo se tiene una diferencia con el Caso-1, en el sentido que la reinyección de toda la salmuera se realiza en la zona del pozo SM-4. Similar al resultado del Caso-1, se requieren 10 pozos de arranque adicionales a los 4 existentes, pero resulta que se requieren 11 pozos de reposición durante los 30 años de operación de la planta para un total de 25 pozos. Se pronostica un decaimiento de producción en los primeros 10 años, por lo que se requiere de la perforación de un pozo de reposición por año.

La diferencia de estos resultados indica que, aun cuando los nuevos datos muestran una mejor permeabilidad en el pozo SM-4, la conexión entre el yacimiento de producción y la zona de reinyección es mejor en el Caso-1 (reinyección al sur de la zona de producción) que en el Caso-2 (reinyección en la zona del SM-4).

La Figura 4-89 muestra los resultados de la simulación para el Caso-3 el que considera dos etapas de 50MW (ver nota al pie de la Tabla 4-16); uno al arranque de operaciones y otro arrancando 4 años después para simular explotación por 30 años a partir del arranque de la primera etapa. El Caso-3 considera la reinyección al sur de la zona de producción. El número de pozos de arranque iniciales es de 3 adicionales a los 4 existentes y según este escenario se requerirá un pozo de reposición en los primeros 4 años de explotación. A la entrada de la segunda etapa de 50 MW se requerirán 8 pozos adicionales y 5 pozos de reposición para sostener los 100 MW de explotación durante el resto de tiempo hasta el año 30. En total 21 pozos para este caso. Cabe notar que la predicción indica que el último pozo de reposición se hace necesario unos meses antes de terminar el periodo de 30 años y es obvio que no se perforaría si la explotación de 100 MW se suspende en el año 30. Solo se perforaría si las instalaciones están en debida forma para usarse más tiempo.

La Figura 4-90 muestra los resultados de la simulación del Caso-4 cuyas condiciones de simulación difieren del Caso-3 solo en la zona de reinyección; el Caso-4 la considera en la zona del pozo SM-4. El arranque de la primera etapa requiere de 3 pozos adicionales a los 4 existentes más 1 pozo de reposición en los cuatro años de operación iniciales, más 8 pozos para el arranque de la segunda etapa de 50 MW más 8 pozos de reposición en el periodo hasta el año 30 de operación con 100 MW de explotación. Para este caso el total de pozos es de 24. La razón es similar a la explicada para el Caso-3. Estas condiciones de simulación y sus resultados están resumidos en la Tabla 4-17.

Tabla 4-17 Resumen de los resultados de la simulación de predicción (100 MW x 1, dos Casos)

	Pozos de arranque	Pozos de reposición	Total
Estudio del 2007 Para 100 MW	14 Pozos (SM-1,2,3,5+10 Pozos)	8 Pozos	22 Pozos
Estudio del 2013 Caso-1	14 Pozos (SM-1,2,3,5+10 Pozos)	7 Pozos	21 Pozos
Estudio del 2013 Caso-2	14 Pozos (SM-1,2,3,5+10 Pozos)	11 Pozos	25 Pozos

Tabla 4-18 Resumen de los resultados de la simulación de predicción (100 MW x 1, dos Casos)

	Pozos de arranque	Pozos de reposición (para 50MW)	Pozos adicionales	Pozos de reposición (para 100MW)	Total
Estudio del 2013 Caso-3	7 Pozos (SM-1,2,3,5+3 Pozos)	1 Pozo	8 Pozos	5 Pozos	21 Pozos
Estudio del 2013 Caso-4	7 Pozos (SM-1,2,3,5+3 Pozos)	1 Pozo	8 Pozos	8 Pozos	24 Pozos

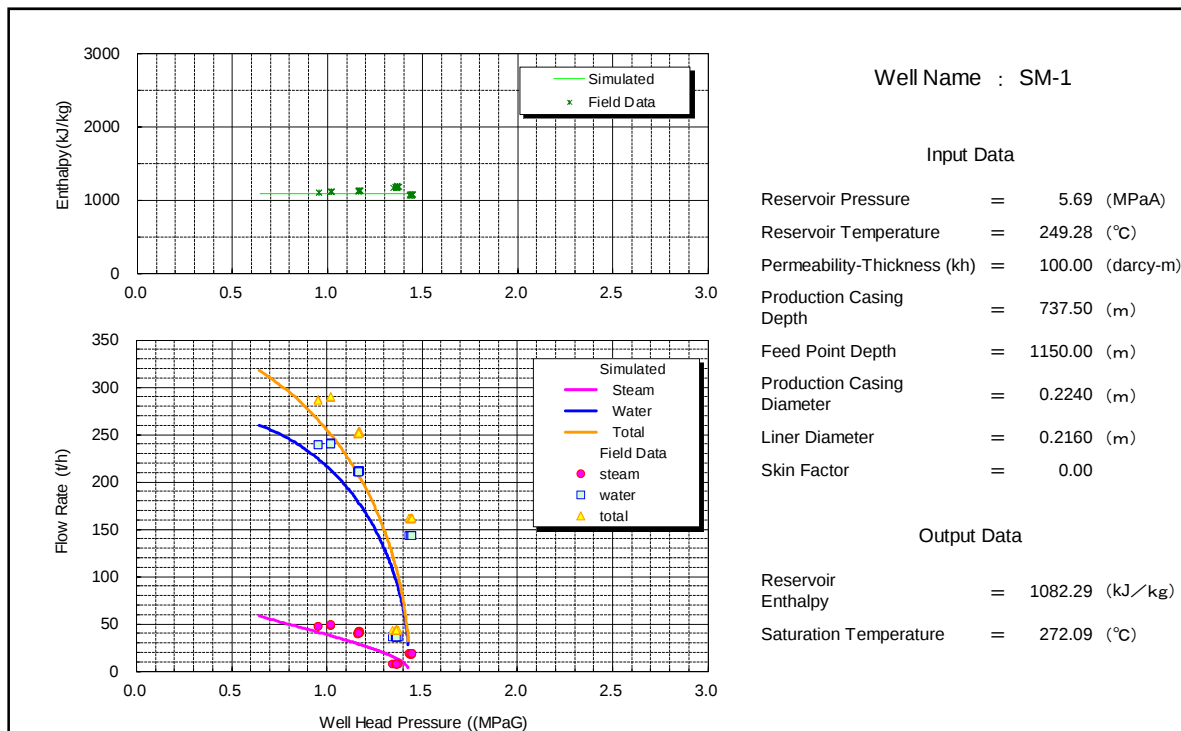


Figura 4-84 Curva de producción vs presión de cabezal para el pozo SM-1

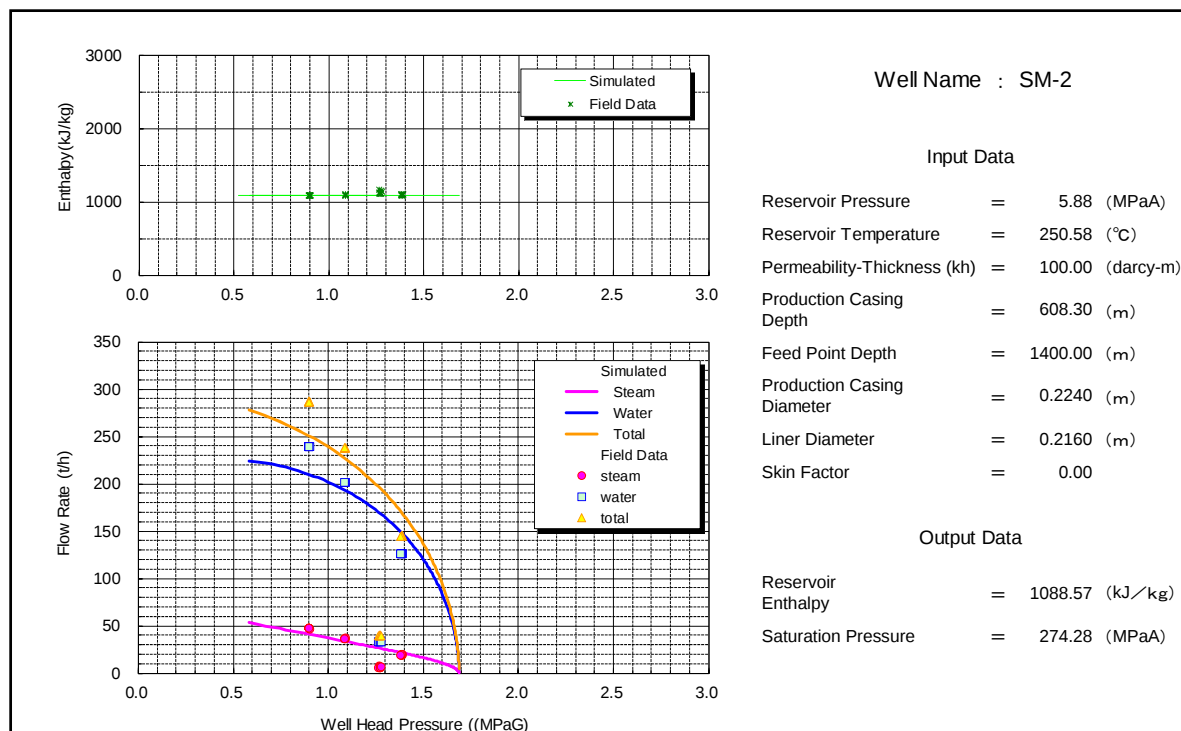


Figura 4-85 Curva de producción vs presión de cabezal para el pozo SM-2

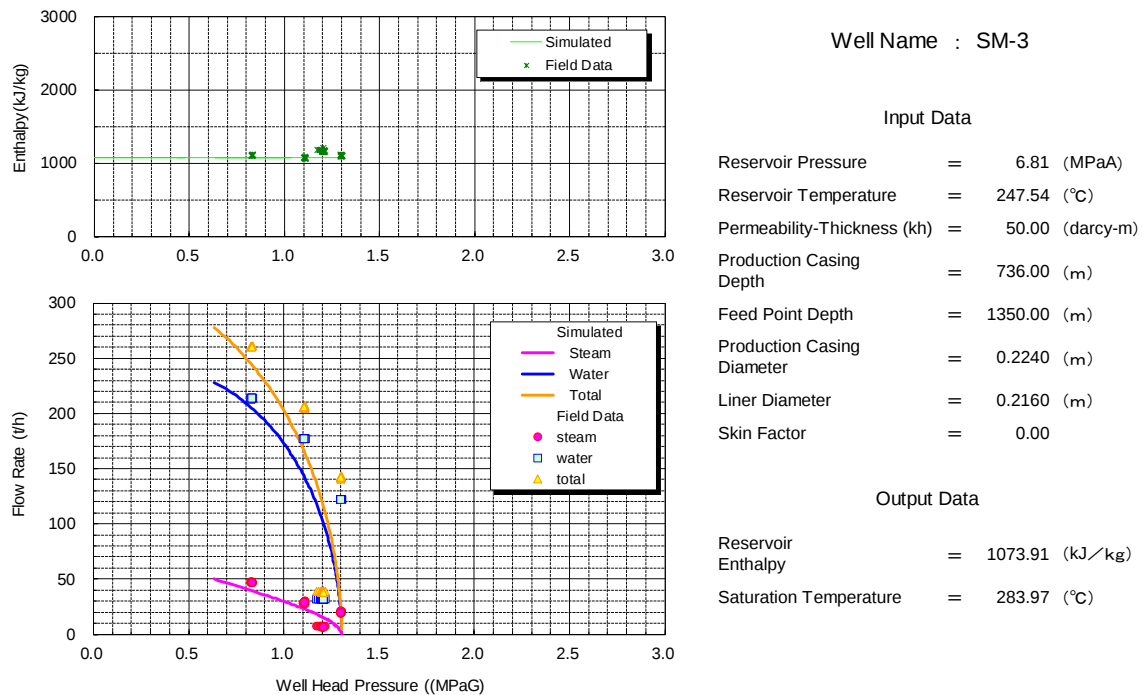


Figura 4-86 Curva de producción vs presión de cabezal para el pozo SM-3

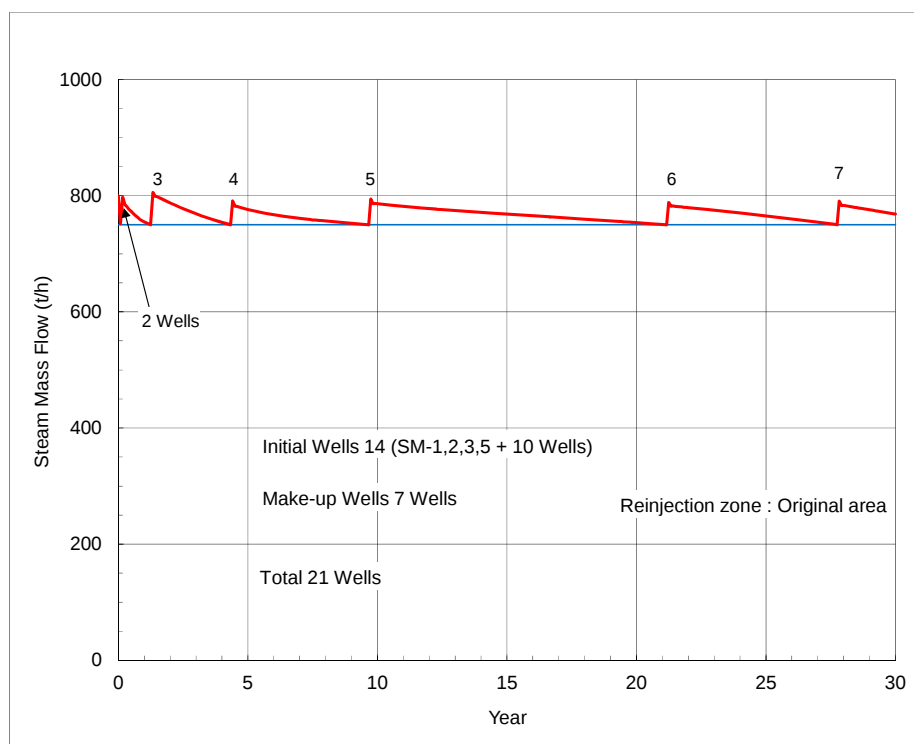


Figura 4-87 Resultados de la simulación de predicción (Caso-1, 100 MW x 1, reinyección al sur del área de producción)

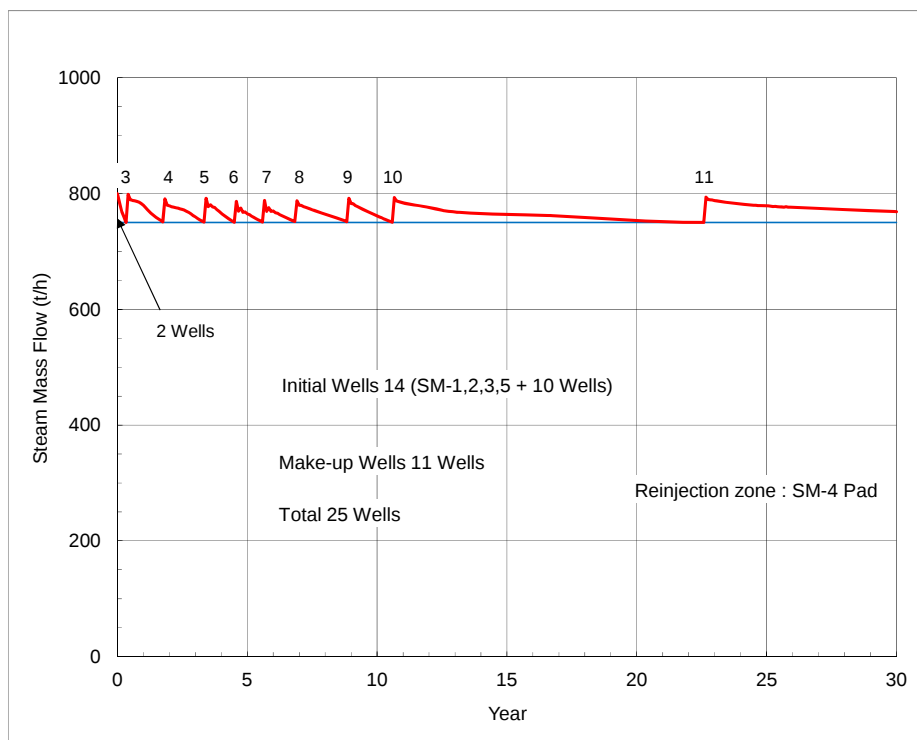


Figura 4-88 Resultados de la simulación de predicción (Caso-2, 100 MW x 1 reinyección al desde la plataforma del pozo SM-4)

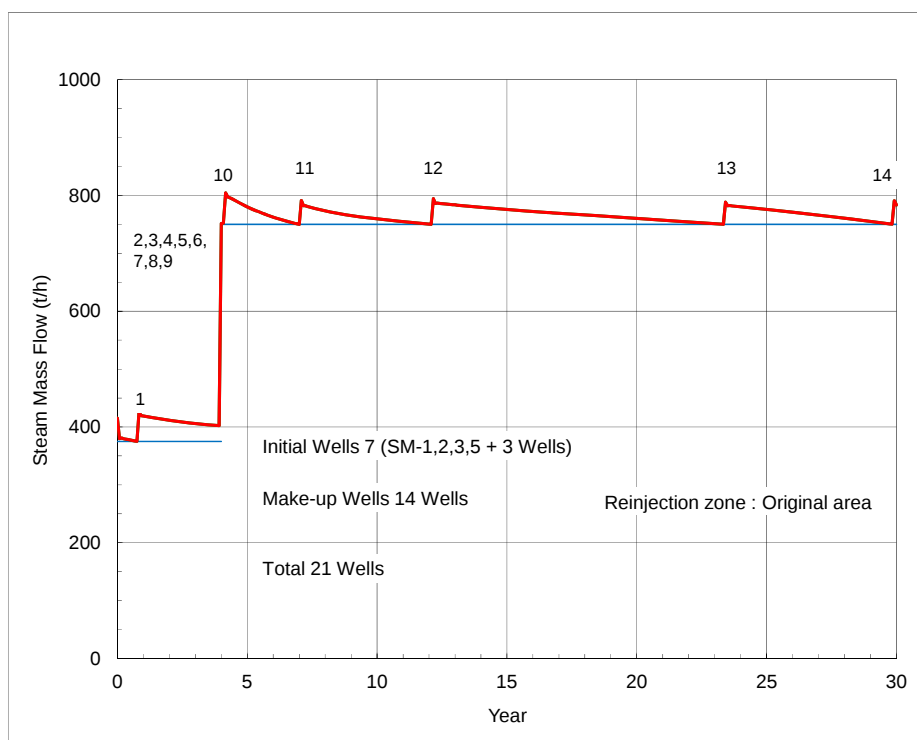


Figura 4-89 Resultados de la simulación de predicción (Caso-3, 50 MW x 2, reinyección al sur del área de producción)

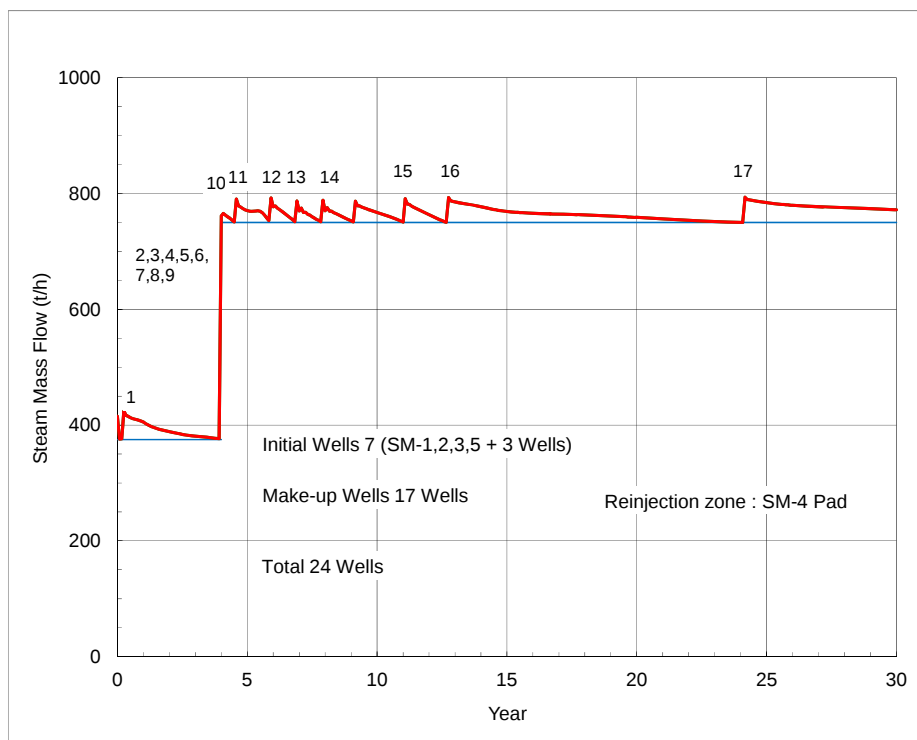


Figura 4-90 Resultados de la simulación de predicción
(Caso-4, 50 MW x 2 reinyección desde la plataforma del pozo SM-4)

Para una mejor apreciación se realizó una simulación de movimiento de masa en el yacimiento para los Casos 3 y 4. Los resultados se muestran de la Figura 4-91 a la Figura 4-94. En el Caso 4 se observa que hay una invasión limitada de fluidos de reinyección en la zona de producción, sin embargo para el Caso-3 se observa que para el año 10 ya hay invasión de fluidos y que para el año 20 los elementos del modelo numérico cercanos al yacimiento de producción está totalmente llenos de retornos de fluidos de reinyección. Sin embargo, ya que el simulador no reporta cambios apreciable en la temperatura, estos fluidos debieron haber sido recalentados en su migración a la zona de producción. Esto es resultado de la simulación con la información existente y es de observar que la zona de reinyección al sur de la zona de producción no ha sido explorada con pozos, por lo que es recomendable mantener un programa de monitoreo químico a lo largo de la explotación del yacimiento para poder reaccionar dentro del manejo del yacimiento a cualquier indicio de enfriamiento por invasión de fluidos.

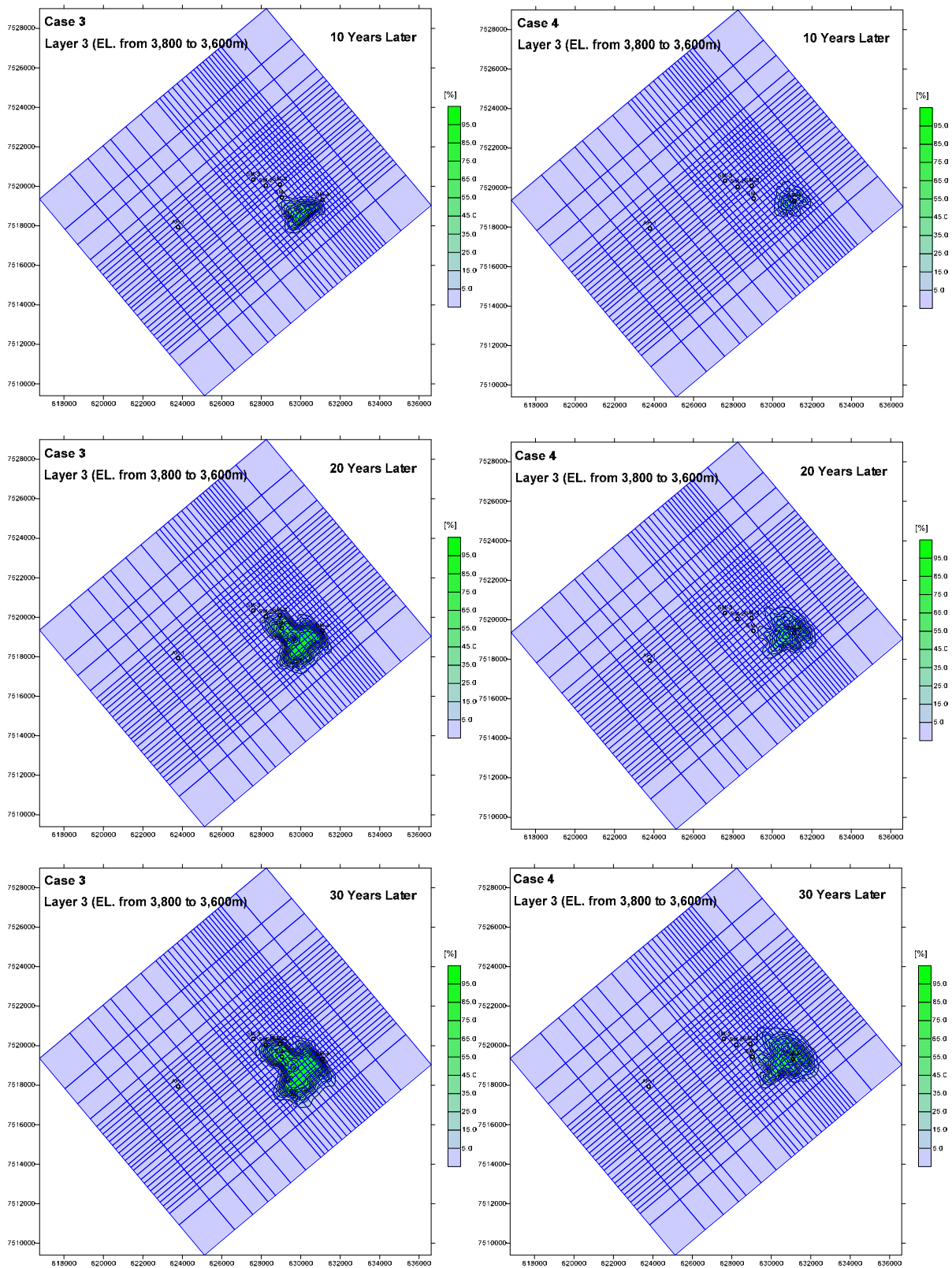


Figura 4-91 Predicción de la distribución de agua reinyectada 10, 20, 30 años después para el Caso-3 y Caso-4 (Capa 3)

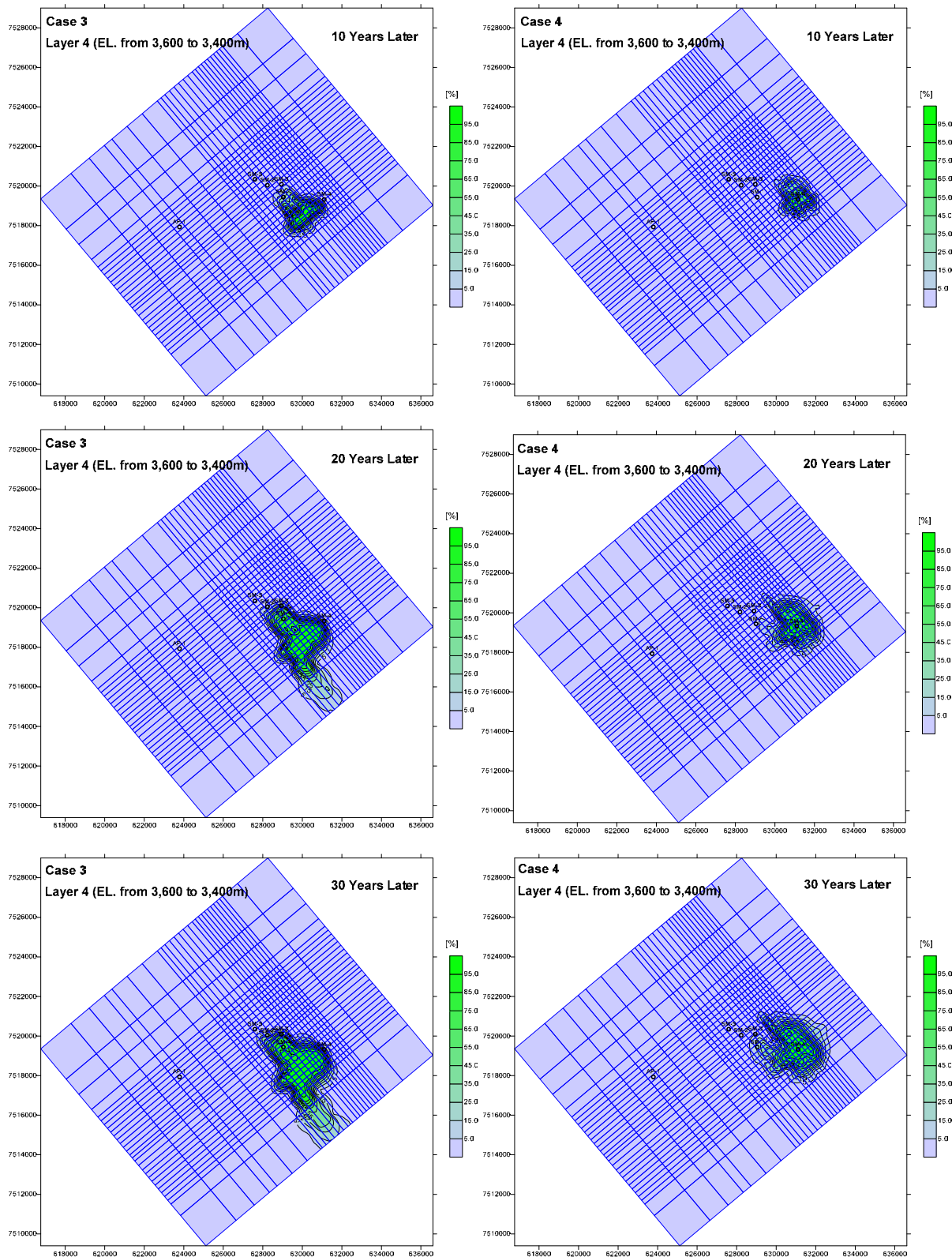


Figura 4-92 Predicción de la distribución de agua reinyectada 10, 20, 30 años después para el Caso-3 y Caso-4 (Capa 4)

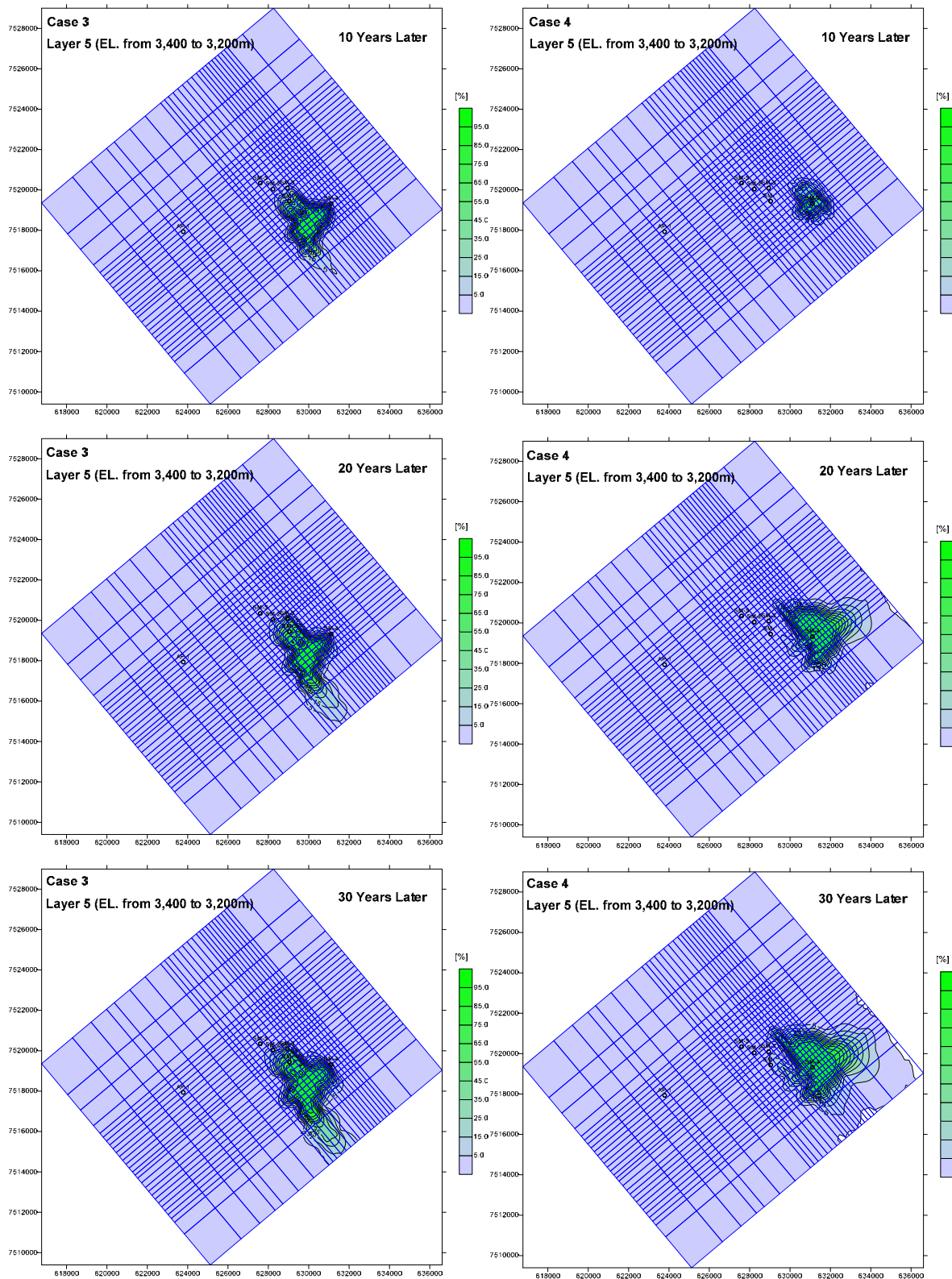


Figura 4-93 Predicción de la distribución de agua reinyectada 10, 20, 30 años después para el Caso-3 y Caso-4 (Capa 5)

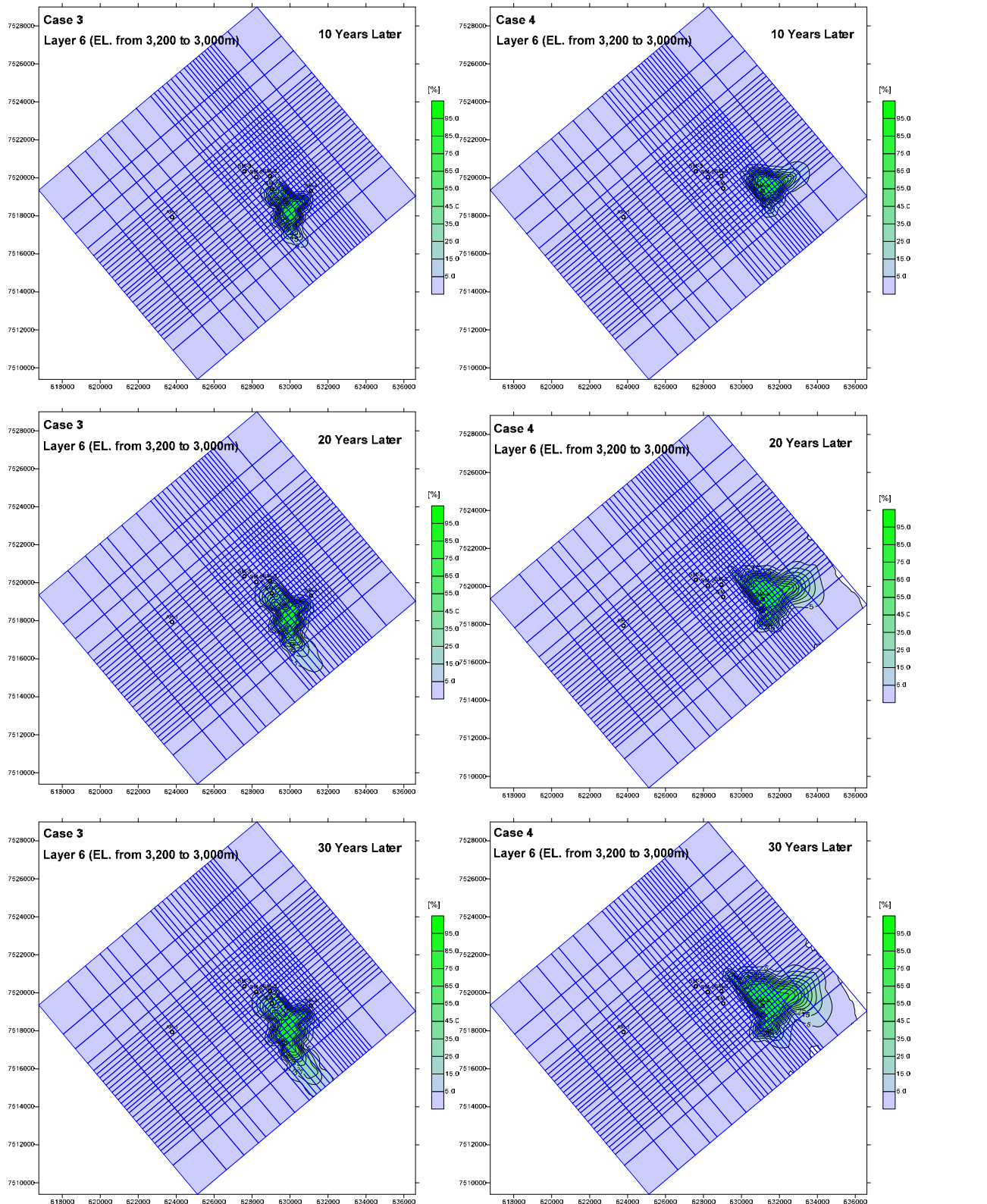


Figura 4-94 Predicción de la distribución de agua reinyectada 10, 20, 30 años después para el Caso-3 y Caso-4 (Capa 6)

4.4 Simulación de descarga de sulfuro de hidrógeno

a) Objetivo

- Los fluidos geotérmicos contienen una pequeña cantidad de sulfuro de hidrógeno que afecta el ambiente. En las operaciones de las plantas geotérmicas, estos gases no condensables (GNC) son extraídos de los condensadores utilizando eyectores y se envían a las torres de enfriamiento para su descarga a la atmósfera. En casos cuando el nivel de las concentraciones en la superficie son altas, se instala un equipo costoso de desulfuración. Por esta razón, es crucial para la construcción de una planta geotérmica tener en cuenta las concentraciones de sulfuro de hidrógeno en superficie.

b) Bitácora de actividades

- Se ha calculado la concentración de sulfuro de hidrógeno, que se descargará en el sitio de construcción, considerando las muestras tomadas de los fluidos geotérmicos durante las pruebas de producción en los pozos SM-1, SM-2 y SM-3.
- Se han tomado los datos meteorológicos de dos años, obtenidos con la estación instalada en el sitio Sol de Mañana.
- Se obtuvieron los datos topográficos del terreno en el sitio de construcción de la planta.

El diseño de la planta y el número de ventiladores en la torre de enfriamiento se ha calculado para 50 MW y 100 MW.

Se estudiaron tres alturas de descarga desde la Torre de Enfriamiento: 13, 18, y 23 metros con respecto a la capacidad de la planta de 50 MW o 100 MW, y con base en los lineamientos para la calidad del aire del Banco Mundial y la Comisión de Texas sobre la Calidad Ambiental (TCEQ). La altura del nivel de descarga de GNC (chimenea) fue variada ± 5 m de la altura de 18 m promedio correspondiente aquella en una planta de similar capacidad.

c) Producto

- Los resultados se presentan a continuación
- Se elaboró un reporte sobre la simulación de la descarga de sulfuro de hidrógeno.

4.4.1 Simulación para la descarga de sulfuro de hidrógeno

En las plantas geotérmicas se utiliza el fluido geotérmico para producir el vapor que impulsará las turbinas para generar energía. Generalmente, el vapor requerido para este proceso contiene gases no condensables (GNC), que principalmente consisten en dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H_2S). Estos GNC son extraídos de los condensadores utilizando eyectores y se envían a las torres de enfriamiento para su descarga a la atmósfera. En este trabajo se asume que los GNC se mezclan con el aire antes de ser liberados en las torres de enfriamiento; la evaluación del impacto se realizó asumiendo capacidades de planta 50 MW y 100 MW y que los GNC para cada caso son mezclados con $130.000 \text{ m}^3/\text{min}$ y $260.000 \text{ m}^3/\text{min}$ de aire respectivamente antes de ser liberados a la atmósfera.

4.4.2 Lineamientos Aplicables de Calidad de Aire para Concentraciones de H₂S

No existen normas locales o bolivianas sobre calidad de aire ambiente para H₂S que puedan aplicarse a la planta geotérmica en Sol de Mañana. Las concentraciones críticas de H₂S, adoptadas para la comparación con concentraciones de impacto previstas en este análisis, son lineamientos establecidos por el Banco Mundial y las normas establecidas por la Comisión de Texas sobre la Calidad Ambiental (TCEQ). En el documento de lineamientos del Banco Mundial denominado “Lineamientos de Salud, Seguridad Ocupacional y Medio Ambiente, en la Generación de Potencia a partir de Energía Geotérmica” (Abril 30, 2007) se recomienda adoptar los valores de referencia para la calidad del aire de los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (Air Quality Guidelines, World Health Organization WHO, Ginebra 2000). Las fuentes de emisión de H₂S en Texas deben cumplir con las concentraciones permitidas en la norma TCEQ para H₂S (30TAC§112, adoptada en Enero 1, 1976). Con el fin de comparar las concentraciones de H₂S pronosticadas para las capacidades de planta posibles en la implementación del Proyecto Geotérmico Sol de Mañana, en este estudio se seleccionaron las concentraciones más bajas establecidas en el estándar de salud de los lineamientos del Banco Mundial así como los valores referenciales de concentración en el ambiente establecidos por la TCEQ.

Contaminante/Periodo Promedio	Directriz de 1997 del Banco Mundial µg/m ³	Valor de referencia TCEQ µg/m ³
H₂S		
30-minutos ^a	--	162
24-horas	150	--
Hg		
1-hora	--	0.25
Anual	--	0.025

Tabla 4-19 Criterios de concentración atmosférica del Banco Mundial

^a El modelo adoptado no puede calcular impactos para un periodo promedio de 30 minutos, por lo tanto, se sustituyó con un periodo promedio de una hora

El sulfuro de hidrógeno es un compuesto de olor altamente ofensivo. Los valores de concentración mostrados en la Tabla 4-19 están establecidos para proteger al público de los efectos nocivos a la salud por este gas. Sin embargo existe la posibilidad de que aunque las emisiones sean de baja concentración de H₂S, y que no representen riesgo a la salud, aun causen olores ofensivos.

En altas concentraciones, el H₂S puede ser muy dañino para la salud. Como referencia, la Tabla 4-20 (tomada del documento de lineamientos del Banco Mundial) ilustra la relación dosis-efecto para varias concentraciones de H₂S.

Concentración de H ₂ S µg/m ³	Efecto
1,4×10 ⁶ – 2,8×10 ⁶	Colapso inmediato con parálisis respiratoria
7,5×10 ⁵ – 1,4×10 ⁶	Fuerte estimulación del sistema nervioso central, hiperventilación, seguida de paro respiratorio

$4,5 \times 10^5 - 7,5 \times 10^5$	Edema pulmonar con riesgo de muerte
$2,1 \times 10^5 - 3,5 \times 10^5$	Pérdida del sentido del olfato
$7,0 \times 10^4 - 1,4 \times 10^5$	Daño ocular serio
$1,5 \times 10^4 - 3,0 \times 10^4$	Nivel crítico para irritación ocular

Tabla 4-20 H₂S: Relación Dosis - Efecto

4.4.3 Evaluación de Conformidad

Con el fin de evaluar los potenciales efectos de la concentración de sulfuro de hidrógeno procedente de la torre de enfriamiento, se realizó un análisis de dispersión atmosférica.

(1) Descripción del Modelo de Dispersión Atmosférica

Para este análisis del modelo de dispersión de aire se utilizó la 3ra versión del llamado Complejo de Fuente Industrial (ISC3) - Industrial Source Complex 3rd version- (Versión 02035 de la EPA). El ISC3 está basado en un modelo estacionario de pluma Gaussiana y provisto de funciones capaces de evaluar los cambios de concentración debidos a una variedad de fuentes contaminantes a través de periodos cortos y anuales. El modelo ISC3 fue diseñado para ser usado especialmente para la modelación conforme a las normas de la USEPA e incluye escenarios tales como la elevación final de la pluma, la deflexión de corriente descendente, dispersión inducida por flotabilidad, una rutina para procesar los promedios cuando soplan vientos calmos, y valores por defecto para exponentes de viento y para potenciales gradientes verticales de temperatura. Este modelo ha sido adoptado por varias agencias regulatorias alrededor del mundo, como por ejemplo: Comisión de Texas sobre Calidad Ambiental (TCEQ), Agencia Nacional de Medio Ambiente y Planificación de Jamaica (NEPA), Autoridad Nacional de Medio Ambiente de Panamá, Ministerio de Desarrollo Territorial, Agua y Medio Ambiente de Marruecos. Sin embargo aunque la EPA, en sus Lineamientos sobre Modelos de Calidad de Aire (40 CFR Parte 51, Nov. 9, 2005), recomienda usar un modelo más nuevo, el AERMOD, para el modelado de dispersión atmosférica de corto rango (<50 km) en lugar del ISC3, este último está todavía entre los modelos alternativos que pueden utilizarse. Mientras que el modelado con AERMOD requiere un sinnúmero de datos meteorológicos, el ISC3 fue seleccionado por necesitar menos datos meteorológicos además de haber sido el principal modelo de la EPA por más de 10 años, hasta que AERMOD fuera distribuido a finales del año 2005.

(2) Información Meteorológica

La información meteorológica introducida al ISC incluye los parámetros horarios mostrados abajo:

- Dirección del Viento,
- Velocidad del Viento,
- Temperatura,
- Clase de Estabilidad Atmosférica, y
- Alturas de estratos de mezclado.

La dirección, velocidad del viento y la temperatura fueron tomadas de registros registrados en una torre

meteorológica de 10 metros ubicada en el sitio del proyecto. Existen datos tomados en un periodo de dos años, desde el 16 de Junio de 2011 al 15 de Junio de 2013.

La clase de Estabilidad Atmosférica se derivó de los valores monitoreados de radiación solar y velocidad de viento mediante el uso del método “Turbulencia Lateral”, descrito en la Sección 6.4.4 del documento guía de la USEPA - Guía de Monitoreo Meteorológico para Aplicaciones de Modelado Regulatorio” de febrero del 2000. Este método utiliza valores de velocidad de viento y la desviación estándar del ángulo de azimut del viento para estimar la clase de estabilidad durante horas del día y de la noche.

Debido a que no se dispone de información local de cobertura de nubes, no se pudo estimar las alturas de estratos de Mezclado y se requiere adoptar el uso del Manual SCREEN 3 de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA). Este proceso utiliza la velocidad de viento, velocidad de fricción y el efecto de Coriolis para calcular las alturas de mezclado. El parámetro de altura de estratos de mezclado determinado de esa manera es utilizado por el ISC para calcular las concentraciones de contaminantes durante periodos de condiciones atmosféricas neutrales e inestables (Estabilidad Clases A a la D). Durante condiciones atmosféricas estables (clases E y F, condiciones en las cuales generalmente se producen los impactos más altos) las alturas de mezclado fueron ignoradas.

(3) Consideraciones del Terreno

La planta en Sol de Mañana será instalada al sur de Bolivia, en las faldas de Cordillera de los Andes. El área que rodea el sitio del proyecto presenta tanto terreno plano como accidentado. La planta se ubicará en una extensión de terreno a aproximadamente 4,900 metros de altitud y el sitio está rodeado por picos al noreste, sudoeste y sur de la localización cuyas elevaciones varían entre 5,100 metros y 5,300 metros. Los datos de elevación disponibles fueron cargados en la versión internacional del Módulo de Terreno del paquete AERMOD (BAERMAP). Este programa es compatible con ISC y tiene una función que calcula las elevaciones de cada receptor y de cada fuente de emisión con base en los datos de elevación de zonas adyacentes. El cálculo de los efectos por la forma del terreno se hizo en un área que abarca un radio de 10 kilómetros alrededor del sitio de la planta.

(4) Malla de área Receptora

La malla de áreas receptoras utilizada para este análisis se inicia en el límite del predio de la planta y se extiende 10 kilómetros en todas las direcciones del sitio, no habiendo sido evaluados receptores dentro de los límites del predio. A lo largo del límite del predio y extendiéndose 100 metros más allá se aplicó una malla densa de 25 metros. Desde los 100 metros a 500 metros más allá del sitio de la planta, se utilizó una malla de 100 metros. De 500 m a 5.000 m (5 km) del límite del sitio, se utilizó una malla de 500 metros y más allá de los 5 km, se utilizó una malla de 1 km. La malla de área de receptor de 10 kilómetros por lado se muestra en la Figura 4-95.

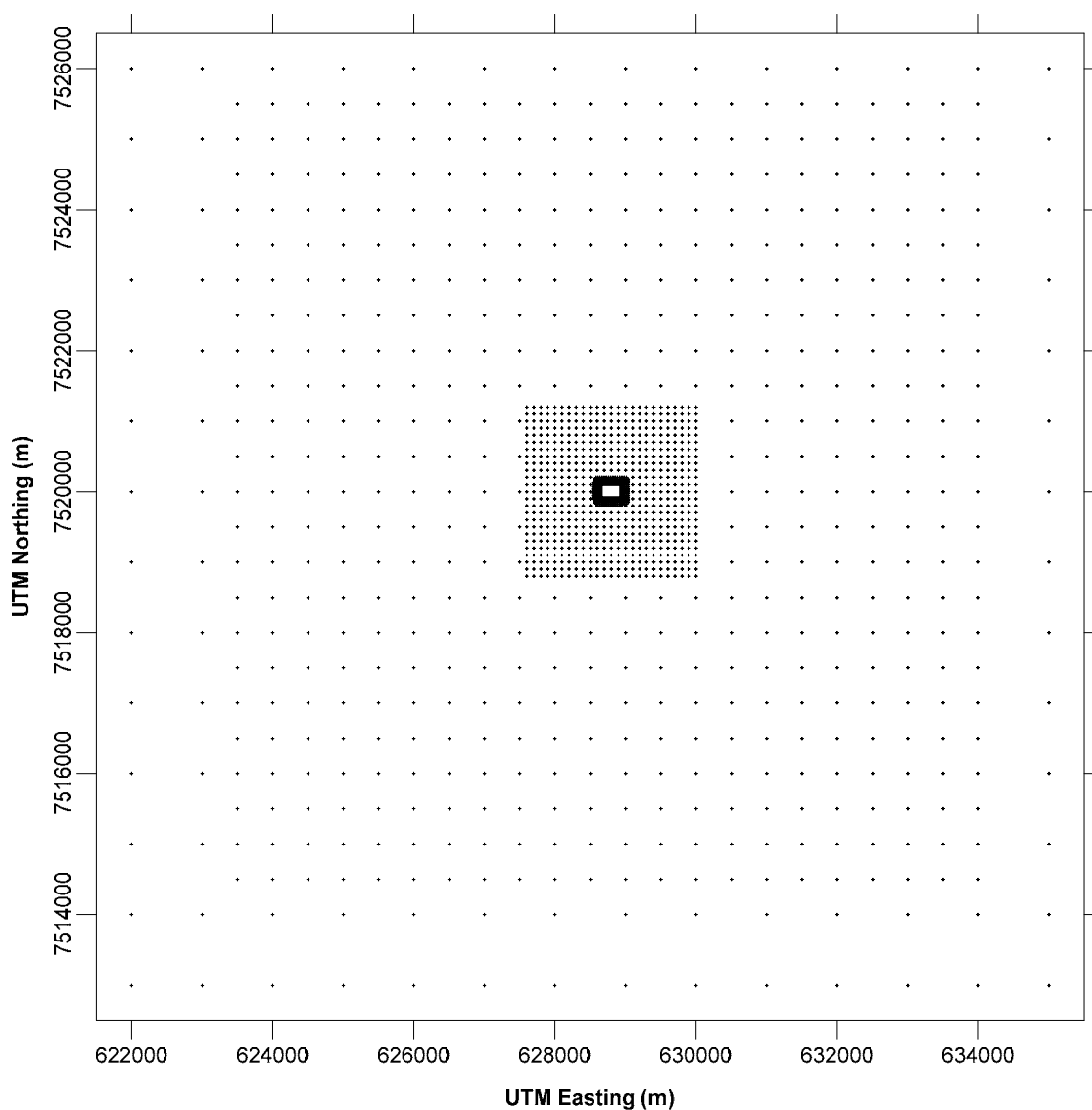


Figura 4-95 Cuadrante Receptor de 10 Kilómetros

(5) Consideraciones del efecto de desvío de corriente descendente por construcciones

Las estructuras principales a considerarse como causantes del desvío de corriente descendente son la casa de máquinas y la torre de enfriamiento misma. Las dimensiones y localización de estas estructuras fueron utilizadas para estimar los parámetros de desvío de corriente descendente en el modelo. Sin embargo, también es cierto que otras estructuras podrían contribuir al efecto de desvío de corriente descendente.

La Tabla 4-21 muestra una lista de las alturas de las edificaciones representadas en el análisis. La posición de las edificaciones, así como la ubicación de la fuente de emisión se muestra en las Figuras 4-96 y 4-97.

Tabla 4-21 Dimensiones de edificios usadas en la simulación de dispersión de H₂S

Edificación	Altura (m)
Edificio de Torre de Enfriamiento 1	Variable*
Edificio de Torre de Enfriamiento 2	Variable*
Casa de Máquinas	18
Taller	10
Deposito	10
Administración	10
Guardia	4
Sistema de Tratamiento de Agua	14
Tanque de agua	15

^aLa altura del nivel de descarga de GNC (chimenea) fue variada +/-5 m de la altura de 18 m promedio correspondiente aquella en una planta de similar capacidad. La altura del techo de la torre de enfriamiento se tomó 4.4 m menor que la altura de la chimenea.

Los ventiladores de la Torre de Enfriamiento crean también un efecto de deflexión de corriente descendente, el cual está automáticamente considerado en el modelo. Los parámetros de efecto de deflexión de corriente descendente descritos en esta sección se refieren a estructuras cercanas a los puntos de emisión, los que podrían derivar en efectos de deflexión de corriente descendente “por edificación”.

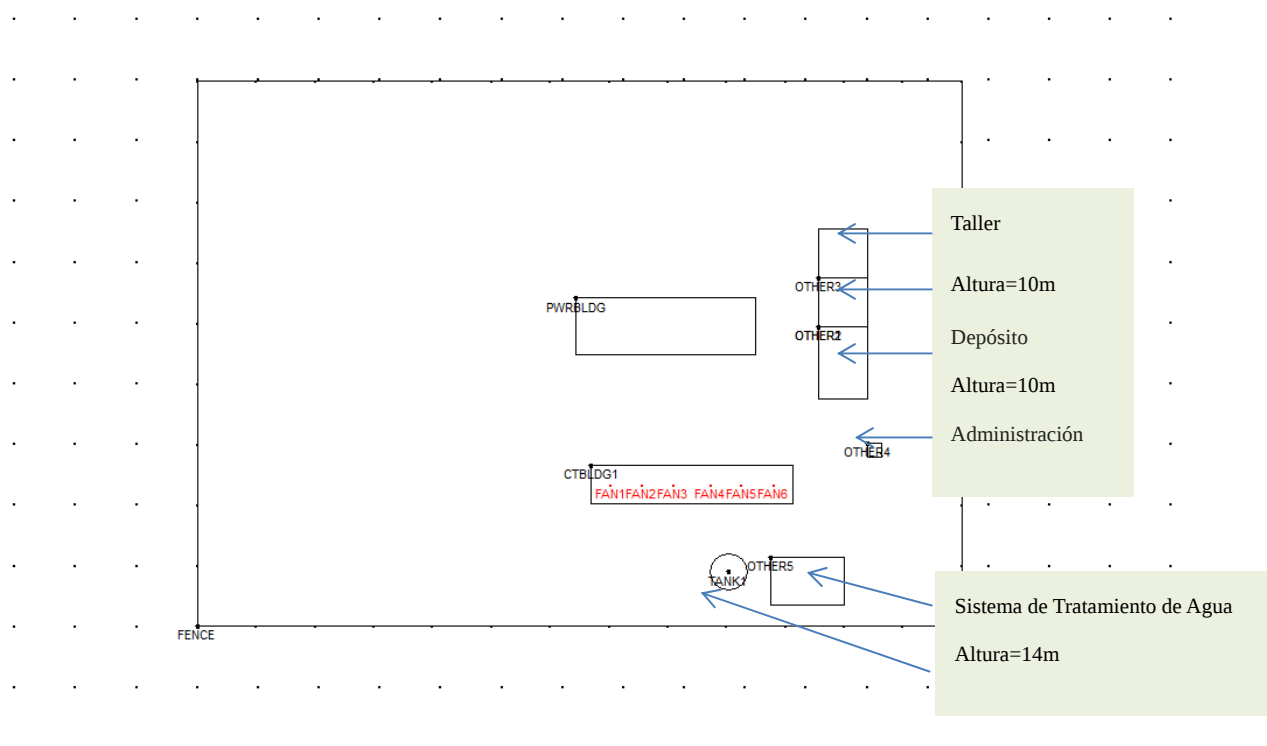


Figura 4-96 Plano esquemático para Planta de 50 MW

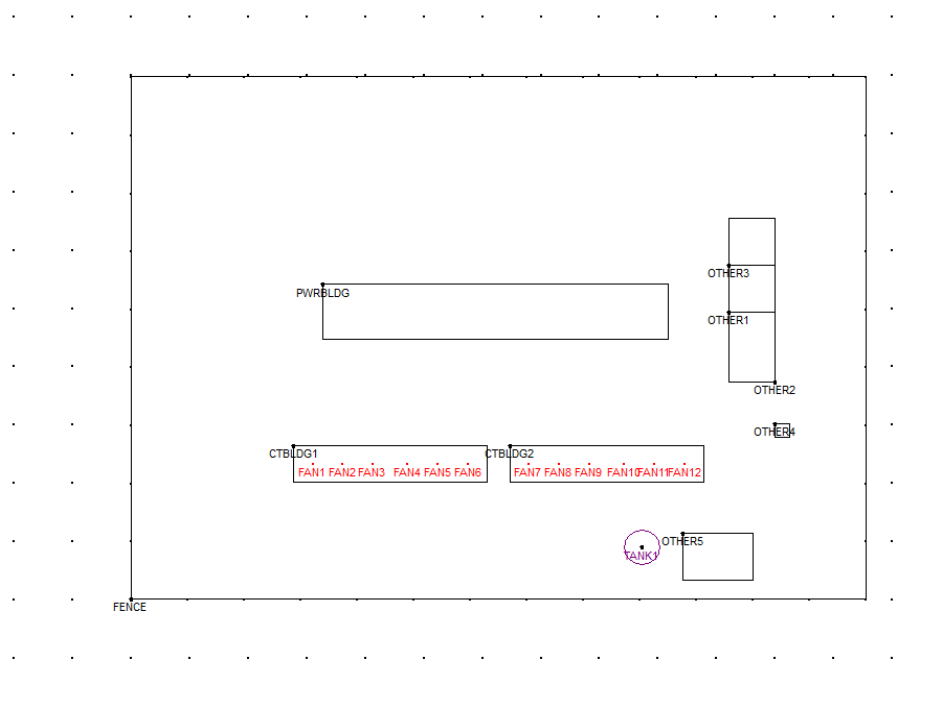


Figura 4-97 Plano esquemático para Planta de 100 MW

4.4.4 Parámetros de descarga y Datos de Fuente de Emisión

Los gases incondensables, incluyendo el H_2S , que acompañan en pequeñas cantidades al vapor separado de los fluidos geotérmicos son evacuados de la turbina de vapor después de trabajar en el ciclo de generación de potencia por el sistema de extracción de gases incondensables del condensador. Los gases son enviados a la torre de enfriamiento para su descarga a la atmósfera, sin embargo la concentración de estos se incrementa exponencialmente comparada con la concentración de gases incondensables en los fluidos geotérmicos originales. Las concentraciones originales se pueden conocer a través de las pruebas de producción que se hacen en los pozos al terminar la perforación.

Las pruebas de producción que se llevaron a cabo durante este proyecto (2012 – 2013 mostradas en la Tabla 4-22) revelaron que la concentración de gases no condensables, así como la concentración de H_2S , es mucho menor (concentración de gases no condensables de 0.07% en peso) que la reportada para pruebas anteriores (1997 que comparativamente se muestran en la Figura 4-63)

El componente principal de los GNC es CO_2 , lo que es común en la mayoría de los campos geotérmicos del mundo (>78% molar) y el contenido en % molar de H_2S resultó de en un rango de 6.06 a 8.13. Aunque en cantidad molar (o en peso) los GNC en el fluido geotérmico resultó ser menor en las pruebas del 2012 – 2013 (ver Figura 4-62), la proporción de H_2S en los GNC resultó relativamente similar a la obtenida en las pruebas de 1997 (ver Figura 4-63).

La Tabla 4-22 muestra los valores en los cuales se basó la estimación del valor a utilizar en la simulación de la dispersión de H₂S. Para las pruebas dentro del presente proyecto se tomó 0.00437 % en peso y para las pruebas de 1997 se tomó 0.01500% en peso de H₂S en el vapor (en las pruebas de pozos del 1997 el contenido de H₂S en el vapor fue reportado tres veces mayor que en las pruebas de este año).

Tabla 4-22 Cantidad de H₂S en el vapor a utilizar en el modelo de dispersión del 2013

Cantidad de vapor necesaria para la generación de potencia	8,000	kg/MW/h	
Cantidad de H ₂ S en el vapor	0.00437	Wt%	(según prueba de producción del pozo SM-1 en 2013)
Contenido de H ₂ S por unidad de masa de vapor	0.350	kg/h	
Cantidad de H ₂ S descargado a la atmosfera en el caso de una planta de 50 MWe	17.5	kg/h	
Cantidad de H ₂ S descargado a la atmosfera en el caso de una planta de 100 MWe	35.0	kg/h	

La Tabla 4-23 muestra un resumen de las condiciones operativas relacionadas a tasas de emisión y parámetros de descarga aplicados al modelo de dispersión atmosférica. La ubicación de cada fuente para el caso de 50 MW se muestra en la Figura 4-96. La ubicación de cada fuente para el caso de 100 MW se muestra en la Figura 4-97. La diferencia entre estas figuras es solamente el número de ventiladores de la Torre de Enfriamiento.

Tabla 4-23 Resumen de Datos de Fuente de Emisión

Fuente	Altura ^a de Emisión (m)	Diámetro del Emisor (m)	Temperatura de Escape (K)	Velocidad de Salida (m/s)	Tasa de Emisión ^b H ₂ S (g/s)
Caso de Planta de 50 MW					
Ventilador 1	13/18/23	7	309,15	10	0,810/ 2,778
Ventilador 2	13/18/23	7	309,15	10	0,810/ 2,778
Ventilador 3	13/18/23	7	309,15	10	0,810/ 2,778
Ventilador 4	13/18/23	7	309,15	10	0,810/ 2,778
Ventilador 5	13/18/23	7	309,15	10	0,810/ 2,778
Ventilador 6	13/18/23	7	309,15	10	0,810/ 2,778
Caso de Planta de 100 MW					
Ventilador 1	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 2	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 3	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 4	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 5	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778

Ventilador 6	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 7	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 8	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 9	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 10	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 11	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778
Ventilador 12	13/18/23	7	309,15	10	0,405/ 0,810/ 2,778

- ^a El cálculo se hizo asumiendo tres alturas de celdas de la Torre de Enfriamiento, así como para tres tasas de emisión de H₂S.
- ^b Las emisiones totales de H₂S se dividieron uniformemente entre todas las celdas de las torres de enfriamiento.

4.4.5 Resultados de la evaluación de Impacto en la Calidad Ambiental

El resultado de la comparación de los valores máximos de concentración de H₂S en el medio ambiente debida a la operación de las Torres de Enfriamiento, así como los valores de referencia se muestran en la Tabla 4-24 para el desarrollo de 50 MW y en la Tabla 4-25 para el desarrollo de 100 MW.

Con el fin de estudiar el impacto de factores tales como los parámetros de descarga y datos de fuente de emisión se llevó a cabo la evaluación de varias configuraciones. Las variaciones evaluadas incluyen:

- Desarrollo de 50 MW con Torre de Enfriamiento de 6 celdas y desarrollo de 100 MW con Torre de Enfriamiento de 12 celdas.
- La tasa de emisión de H₂S para el desarrollo de 50 MW fue asumida en dos formas: 4,86 g/s y 16,67 g/s. La tasa de emisión de H₂S para el desarrollo de 100 MW fue asumida en tres formas: 4,86 g/s, 9,72 g/s, y 33,34 g/s.
- Se estudiaron tres alturas de descarga desde la Torre de Enfriamiento: 13, 18, y 23 metros (las alturas de la edificación de la torres de enfriamiento fueron 8,6; 13,6 y 18,6 metros respectivamente).

El modelo predijo que la concentración más baja ocurre a una altura de descarga de 23 m para el período de promedio a corto plazo de una hora, tanto para el desarrollo de 50 MW como para el de 100 MW. Sin embargo, debido a un pico montañoso situado a poco más de un kilómetro de la instalación, las concentraciones para la altura de descarga arriba de los 23 metros, fueron un poco más altas que aquellas para altura de descarga 18 metros en un promedio a largo plazo de 24 horas.

Como se muestra en las Tablas 4-24 y 4-25, las máximas concentraciones de H₂S fuera del predio causadas por las torres de enfriamiento consideradas para la planta en Sol de Mañana y para los dos casos de desarrollos, están por debajo del valor de 150 µg/m³ para un periodo promedio de 24 horas dado en los lineamientos para calidad de aire del Banco Mundial, excluyendo los casos siguientes:

- Desarrollo de 50 MW con una tasa total de emisión de 16,67 g/s sin importar la altura de las torres.
- Desarrollo de 100 MW con una tasa total de emisión de 33,34 g/s sin importar la altura de las torres.

El impacto promedio de 24 horas representa el impacto ponderado durante un día (24 horas) y no puede ser atribuido a ninguna hora particular del día. La tendencia general de los resultados del estudio prevé que los mayores impactos ocurren en los escenarios con mayores tasas de emisión y alturas de descarga bajas.

De acuerdo a la norma de calidad de aire ambiente TCEQ, solo los siguientes casos cumplen con el estándar de concentración de H_2S de $162 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 30 minutos promedio:

- El desarrollo de 50 MW con una tasa de emisión total de H_2S de 4.86 g/s con alturas de descarga a 18 y 23 metros
- El desarrollo de 100 MW con una tasa de emisión total de H_2S de 4.86 g/s con todos alturas de descarga a 18 y 23 metros.

Tabla 4-24 Concentraciones Máximas de H₂S previstas y Valores de Concentraciones Críticas para una planta de 50 MW

Escenario: desarrollo de una Planta de 50 MW (6 Ventiladores)								
Conta- minante	Periodo Promedio	Altura de descarga (m)	Emisión Total de H ₂ S para el desarrollo (g/s)	Impacto Máximo (µg/m ³)	Lineamiento del Banco Mundial 2007 / 24-hr (µg/m ³)	¿Cumplen todas las concentraciones con el lineamiento del Banco Mundial?	Norma TCEQ * 1-hr (µg/m ³)	¿Cumplen todas las concentraciones con las normas de TCEQ?
H ₂ S	1-HR ^a	18	4,86	145,98	--	--	162	SI
H ₂ S	1-HR ^a	13	4,86	172,56	--	--	162	NO
H ₂ S	1-HR ^a	23	4,86	117,33	--	--	162	SI
H ₂ S	24-HR	18	4,86	70,62	150	SI	--	--
H ₂ S	24-HR	13	4,86	85,07	150	SI	--	--
H ₂ S	24-HR	23	4,86	76,96	150	SI	--	--
H ₂ S	1-HR ^a	18	16,67	500,64	--	--	162	NO
H ₂ S	1-HR ^a	13	16,67	591,82	--	--	162	NO
H ₂ S	1-HR ^a	23	16,67	402,40	--	--	162	NO
H ₂ S	24-HR	18	16,67	242,21	150	NO	--	--
H ₂ S	24-HR	13	16,67	291,77	150	NO	--	--
H ₂ S	24-HR	23	16,67	263,95	150	NO	--	--

^a El modelo no puede predecir impactos para un periodo promedio de 30 minutos, por lo tanto, se seleccionó un periodo promedio de una hora.

Tabla 4-25 Concentraciones Máximas de H₂S previstas y Valores de Concentraciones Críticas para una planta de 100 MW

Escenario: desarrollo de una Planta de 100 MW (12 Ventiladores)								
Conta- minante	Periodo Promedio	Altura de descarga (m)	Emisión Total de H ₂ S para el desarrollo (g/s)	Impacto Máximo (µg/m ³)	Lineamiento del Banco Mundial 2007 / 24-hr (µg/m ³)	¿Cumplen todas las concentraciones con los lineamientos del Banco Mundial?	Norma TCEQ * 1-hr (µg/m ³)	¿Cumplen todas las concentraciones con las normas de TCEQ?
H ₂ S	1-HR ^a	18	4,86	108,1	--	--	162	SI
H ₂ S	1-HR ^a	13	4,86	117,2	--	--	162	SI
H ₂ S	1-HR ^a	23	4,86	96,3	--	--	162	SI
H ₂ S	24-HR	18	4,86	44,6	150	SI	--	--
H ₂ S	24-HR	13	4,86	51,9	150	SI	--	--
H ₂ S	24-HR	23	4,86	71,3	150	SI	--	--
H ₂ S	1-HR ^a	18	9,72	216,2	--	--	162	NO
H ₂ S	1-HR ^a	13	9,72	234,4	--	--	162	NO
H ₂ S	1-HR ^a	23	9,72	192,6	--	--	162	NO
H ₂ S	24-HR	18	9,72	89,2	150	SI	--	--
H ₂ S	24-HR	13	9,72	103,7	150	SI	--	--
H ₂ S	24-HR	23	9,72	142,5	150	SI	--	--
H ₂ S	1-HR ^a	18	33,34	741,4	--	--	162	NO
H ₂ S	1-HR ^a	13	33,34	804,0	--	--	162	NO
H ₂ S	1-HR ^a	23	33,34	660,5	--	--	162	NO
H ₂ S	24-HR	18	33,34	305,9	150	NO	--	--
H ₂ S	24-HR	13	33,34	355,7	150	NO	--	--
H ₂ S	24-HR	23	33,34	488,8	150	NO	--	--

^a El modelo no puede predecir impactos para un periodo promedio de 30 minutos, por lo tanto, se seleccionó un periodo promedio de una hora.

4.4.6 Conclusiones

El resultado de la predicción implementada en el presente estudio muestra que en algunos casos las concentraciones máximas de H₂S pronosticadas fueron superiores al valor de los lineamientos de calidad del Banco Mundial (150 µg/m³) en un periodo promedio de 24 horas. Esos casos son:

- Caso de 50 MW con una tasa total de emisión de 16,67 g/s (concentración resultante de la prueba de pozos realizadas previo al presente estudio)
- El desarrollo de 100 MW con una tasa total de emisión de 33,34 g/s (concentración resultante de la prueba de pozos realizadas previo al presente estudio)

Los valores críticos de concentración de H₂S causante de olor ofensivo varían de país en país u organización y oscilan entre 80 y 100 partes por billón (ppb). Desde este punto vista, un nivel de 120 ppb (162 µg/m³) establecido en la Norma TCEQ supera el valor crítico; sin embargo este nivel se encuentra dentro del intervalos establecidos por otras Agencias (ver la tabla adjunta que incluye varias normas vigentes en Estados Unidos). En la norma TCEQ, se utiliza el valor promedio de las concentraciones de H₂S medido durante 30 minutos. Sin embargo, en este estudio se utilizó el valor medido en una hora debido a la capacidad de procesamiento de datos. Se sabe que la relación entre el valor para treinta minutos y el valor para una hora es:

$$\text{Valor de 1 hora} / \text{Valor de 30 minutos} = (60/30)^{-1/5} = \text{valor de 1 hora} \times 1.15$$

*El uso de la regla exponencial que relaciona el cociente de división de valores de concentración pico y promedio al cociente de división de promedio de tiempo de duración corto y largo. La relación es empírica y el exponente de -1/5 es aceptado y adoptado para el modelo CALPUFF.

- Schaubberger G., Piringer M., Petz E., 2002. Calculating direction-dependent separation distance by a dispersion model to avoid livestock odour annoyance, Biosystems Engineering, 82(1), 25-37.
- Mavroidis I., 2009). Effect of averaging time on mean concentrations in building influenced dispersion, International Journal of Environment and Waste Management, 4(1-2), 50-61.
- Santos J.M., Griffiths R.F., Reis N.C., Mavroidis I., 2009. Experimental investigation of averaging time effects on building influenced atmospheric dispersion under different meteorological stability conditions, Building and Environment, 44(6), 1295-1305.
- Mavroidis I., 2009). Effect of averaging time on mean concentrations in building influenced dispersion, International Journal of Environment and Waste Management, 4(1-2), 50-61.
- Santos J.M., Griffiths R.F., Reis N.C., Mavroidis I., 2009. Experimental investigation of averaging time effects on building influenced atmospheric dispersion under different meteorological stability conditions, Building and Environment, 44(6), 1295-1305.

Cuando se aplica esta relación al resultado de la simulación, las concentraciones máximas de H₂S pronosticadas (134.9 µg/m³) se encuentran dentro del rango establecido en la Norma TCEQ en el caso siguiente:

Caso de 50 MW con una tasa total de emisión de 4.86g/s para altura de descarga de 23 m y con una concentración promedio horaria de 117.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor de la concentración máxima promedio para 30 minutos resulta de 134.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y es inferior al valor establecido por los lineamientos de la TCEQ.

El valor anterior no tiene en cuenta el H_2S de fondo. En este proyecto, con el fin de obtener el valor de fondo de las concentraciones de H_2S en toda el área de Sol de Mañana, se tomaron datos durante 24 horas en cada punto. De acuerdo con los datos obtenidos, la concentración H_2S se mantiene generalmente alrededor de 5 ppb o menor en los puntos de observación cercanos al sitio previsto para la construcción de la planta. Los valores máximos se han mantenido por debajo del nivel de 10 ppb (referirse a la Figura 4-98). Por lo tanto, aun agregando el valor de la concentración de H_2S de fondo (10 ppb) al resultado previsto arriba de 134.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (recalculado para 30min) se tendría un valor final de alrededor de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual se encuentra dentro del límite de referencia del TCEQ (162 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los resultados de la simulación de dispersión de H_2S , utilizando los valores de concentraciones en el vapor geotérmico resultantes de las pruebas de pozos, más el valor de fondo medido en el sitio propuesto para las instalaciones y sus alrededores y tomando en cuenta los datos meteorológicos de más de dos años registrados en la estación instalada en el sitio indican que; en caso de un desarrollo de 50 MW utilizando una altura de descarga de H_2S de 23 m la concentración H_2S alrededor de las instalaciones futuras se encontrará dentro de la Norma TCEQ de Texas y dentro de los lineamientos del Banco Mundial y no habría necesidad de utilizar un equipo de abatimiento de gas sulfhídrico.

Sin embargo, para el caso de 100 MW y para algunos de los escenarios analizados, las concentraciones de H_2S en áreas adyacentes donde el impacto sería mayor, aunque satisfacen los lineamientos del Banco Mundial, ninguno de ellos cumpliría con los estándares del TCEQ. Pero tomando en consideración la localización de estas áreas de mayor impacto, los resultados de la simulación sugieren la posibilidad de minimizar el impacto a través de mejoras al diseño de la casa de máquinas y/o a la distribución de equipos dentro del área de la Planta.

Habrà oportunidad de conocer la distribución real de la concentración de H_2S en los alrededores de las instalaciones de 50 MW que será la primera en entrar en operación, lo que permitirá probar los resultados del presente modelo de simulación para mejora resultados a una simulación mucho más confiable y en términos del diseño de la casa de máquinas y distribución de la Planta.

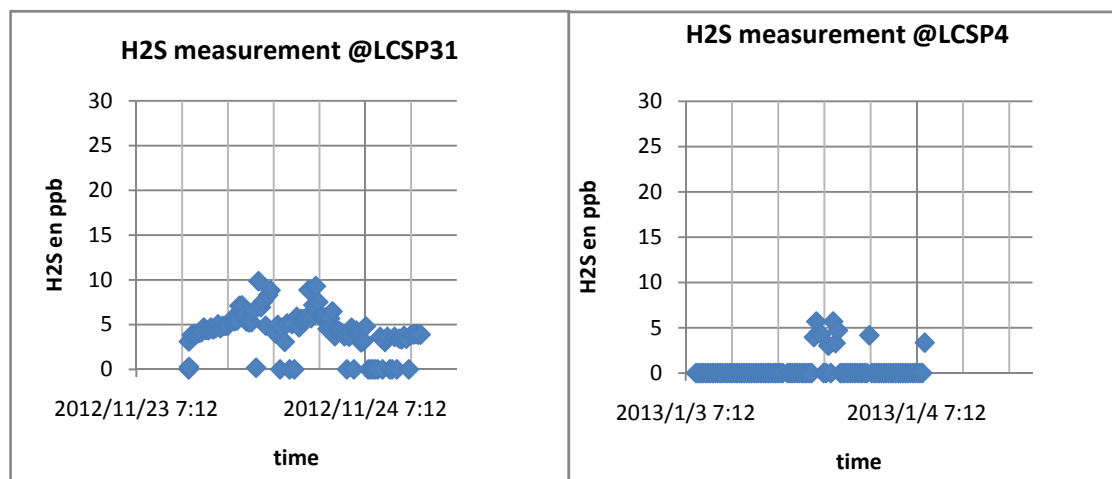


Figura 4-98 Concentración de H2S en las coordenadas UTM 629002, 7520033 y 628946, 7519521

4.5 Seminario

a) Objetivo

Se llevó a cabo entrenamiento para completar la capacidad de ENDE en la preparación, y ejecución de pruebas de producción y su correspondiente monitoreo ambiental.

b) Bitacura de actividades

Se realizó durante la primera sesión de actividades del proyecto dedicado a discutir y acordar en el plan de ejecución del proyecto y como una las últimas actividades se con fin informativo y de entrenamiento en 2 de Junio 2011.

- En septiembre y noviembre de 2011, Enrique Lima acompañó a la misión de JICA, ENDE, Ministerio de Hidrocarburos y Energía, Ministerio de Planificación y al Vicepresidente a un presentación sobre la importancia del desarrollo geotérmico en Sol de Manana.
- En noviembre de 2012, para ejecutar la primera prueba de producción, se llevó a cabo una reunión informativa para ENDE en Cochabamba. Los expertos geotérmica de ENDE se ha reemplazado a casi todos los miembros desde el estudio primaria en el campo de 2011, y se requirió una explicación de la tecnología elemental de desarrollo geotérmico.
- Durante las actividades en Sol de Mañana, realizaron seminarios sobre la seguridad en el campo para los técnicos de ENDE.
- Del 25 de agosto al 2 de septiembre del 2013 se elaboraron los diferentes informes de este proyecto por parte del director y subdirector del proyecto, el geoquímico y los expertos para el evaluación de yacimientos de GHS (empresa Mexicana subcontrata) se a reunido en la oficina central de ENDE en Cochabamba y Ministerio de Hidrocarburos y Energía y Ministerio de Planificación y Desarrollo en La Paz
- 26 de agosto: Informes geotérmica a (Arturo Iporre Salguero) Presidente ENDE y (Marco Escobar) jefe de unidad geotermica.
- 27 de agosto: Informe a los ingeniero de ENDE

- 28 de agosto: Informe a Ministerio de Hidrocarburos y Energía y Ministerio de Planificación y Desarrollo

c) Producto

- No fue posible transmitir conocimiento técnico permanente a la institución pues el personal de ENDE que acompañó al consultor durante la primera fase de actividades en el campo, la mayoría de ellos ya no se encontraban en la institución durante la ejecución de la prueba de producción. El personal de ENDE que acompañó al consultor durante este periodo aunque era relativamente corto se esforzó en absorber los conocimientos técnicos que se les brindaron..
- A pesar que el entendimiento sobre la tecnología geotérmica de estos jóvenes ingenieros de ENDE eran pobre, se esforzaron en lo posible, dentro de su capacidad, para crear informes y ejecutar actividades supervisadas respondiendo adecuadamente a las dificultades que se les presentaban. Se adjunta como ejemplo el informe técnico de ingenieros de ENDE titulado "PRUEBAS DE FLUJO DE TRAZADOR" y que fue elaborado por Srita. Estefanía Olivia Tito Claros. En este informe se hace notar la forma en que fue descrito el procedimiento que fue base a los resultados de la medición y del análisis de datos que se hizo para la medición de producción de masa en flujo de dos fases.

4.6 Logros :

La lista siguiente presenta los logros que se obtuvieron para cada uno de los objetivos del proyecto. En este proyecto ENDE y el Ministerio de Hidrocarburos y Energía fueron las entidades a las que se dirigió el entrenamiento y sus logros se expresan como logros de transferencia de tecnología bajo este proyecto.

Nivel de logro alcanzado dentro de los objetivos del proyecto.	
Resultado 1 La capacidad de ENDE en pruebas de pozos es mejorada.	Grado de logro : Relativamente Alta Aun dado que la elevación del sitio es de 4900m, y su localización es remota y bajo condiciones naturales muy severas, se logró instalar equipos sofisticados y tomar mediciones de para obtener datos de alta calidad provocando el mínima de impacto ambiental. Durante el periodo de actividades de octubre del 2012 los equipos funcionaron satisfactoriamente. Durante las pruebas de producción de largo plazo el personal de ENDE y de los expertos de Japón trabajó juntos lográndose la transferencia de conocimientos de la metodología empleada. El Manual de Producción de largo plazo (borrador) se terminó en junio de 2013 y la versión final de dicho manual fue completada en junio del mismo año. Este manual ha sido utilizado por el personal de ENDE que participo en este entrenamiento. El Manual consta de 10 capítulos de entrenamiento.
Resultado 2 La capacidad de ENDE en el monitoreo y evaluación medioambiental es mejorada.	Grado de logro : Relativamente Alta El Manual de Monitoreo Ambiental se elaboró en diciembre de 2011 en base a los reglamentos de Bolivia. Dicho manual está dirigido a las pruebas de producción de pozos geotérmicos. Se impartió instrucción al personal de ENDE sobre el H ₂ S que se descarga durante las pruebas de producciones como actividades precursoras al desarrollo de una planta geotérmica, todo esto en base a los reglamentos ambientales Bolivianos

Resultado 3 La capacidad de MHE en desarrollo de recursos geotérmicos es mejorada.	Grado de logro : Bueno El personal del MHE y ENDE han logrado adquirir conocimientos sobre las perforaciones geotérmicas mediante visitas a Japón y con el despacho de expertos desde Japón. Sin embargo la actividad 3-2 no se ha logrado realizar s por la falta de la firma del contrato de Loan Agreement (L/A).
--	--

5. Capítulo 5 Estratagemas para la Ejecución Operativa y Administración del Proyecto, Lecciones aprendidas y Cambios de PDM

5.1 Estratagemas de Ejecución Operativa y Administración del Proyecto

(1) Plan de transferencia de tecnología

Este Proyecto fue orientado a la transferencia de tecnología en lo requeridos para la ejecución de las pruebas de producción de pozos geotérmicos y el monitoreo del medio ambiente durante dichas pruebas se realizó en las actividades del trabajo y con seminarios. Para cumplir estos objetivos, fue necesario invertir tiempo en el estudio de los métodos de las pruebas mismas y en la operación de los equipos. Se brindó instrucción para realizar las pruebas de forma de no impactar la ecología de un medio de condiciones severas. En general, se considera haber obtenido resultados satisfactorios en cuanto a logros técnicos. En la ejecución de las pruebas de producción, algunos resultados esperados no pudieron lograrse debido a razones fuera de control como la falla del medidor de flujo de vórtice debido a la incrustación, deficiencias en el cromatógrafo de gases de los trazadores y los problemas causados por incrustaciones en los pozos SM-2 y SM-5. Por el contrario, en las pruebas de producción, la adquisición de datos se llevó a cabo sin ningún problema gracias a la implementación de técnicas complementarias de doble y triple arreglo. La ocurrencia de estos problemas, el entendimiento de las causas a estos y el análisis y proceso para llegar a una solución fue sin embargo de gran valor educacional.

Además de que las pruebas del proyecto se ejecutaron en una zona remota altiplánica de condiciones ambientales severas, que no tiene paralelo en el mundo, fue necesario evaluar las condiciones ambientales del lugar, la infraestructura, la capacidad de los proveedores, etc. Este proyecto, empezando por su planificación e investigación preliminar, continuando con su plan de ejecución, con la implementación de las pruebas hasta llegar al análisis de los datos, se constituyó en una oportunidad muy significativa para implementar entrenamiento práctico a los técnicos de ENDE relativo a las pruebas de producción y el monitoreo ambiental asociado, a través de conferencias y capacitación en el mismo lugar del trabajo. Se hicieron muchos esfuerzos para realizar los trabajos en forma amigable con respecto al medio ambiente, para adquirir el equipo adecuado, y al mismo tiempo, para mantener el nivel técnico requerido en medio de condiciones ambientales severas.

Sin embargo, por otro lado, ninguno de los miembros de ENDE que estuvieron presentes en el comienzo del Proyecto en 2011 permaneció durante el 2012 debido al inestable sistema de asignación de personal de ENDE. Si las políticas de asignación de personal al interior de ENDE fueran orientadas a más largo plazo, se habría podido obtener mayor efectividad en la transferencia de tecnología a través de este Proyecto.

(2) Selección de equipos donados.

Para este proyecto va orientado a la transferencia de tecnología por lo que se introdujeron aparatos y equipos necesarios para las pruebas de producción y el monitoreo ambiental asociado a estas. Debido a la severidad de las condiciones ambientales reinantes en el remoto altiplánico, se trató de introducir automatización y simplificar el trabajo, tal que, al mismo tiempo de realizar las labores en forma amigable con el medio ambiente, se pudiera hacer realidad la obtención de datos de alta calidad.

Los equipos principales introducidos fueron, por ejemplo, el silenciador portátil tipo caja de gran capacidad, diversos tipos de sensores totalmente automatizados, la nueva y altamente precisa tecnología de medición de caudales bajos, utilizando trazadores químicos (TFT), el sistema de medición de temperatura, presión y caudal girante (PTS) equipado con memoria electrónica, el sistema de monitoreo de presión de pozo con tubos capilares, tubos altamente herméticos de polietileno de alta densidad (HDPE) y fáciles de usar, el sistema observación del clima resistente a toda condición ambiental y de alta duración, detectores de sulfuro de hidrógeno portátiles y otros más. Estos equipos demostraron un desempeño bastante satisfactorio, dadas las severas condiciones ambientales de Sol de Mañana.

(3) Manejo de equipo.

En relación al grado de conocimiento de los ingenieros de ENDE en relación al funcionamiento de cada equipo, es evidente que la duración del proyecto no fue lo suficientemente largo ya que algunos equipos, tales como el sistema PTS, el cromatógrafo de gases TFT o el sistema de medición de la presión del tubo capilar requieren práctica más prolongada, no obstante lo anterior, los ingenieros de ENDE ya han aprendido el funcionamiento del cromatógrafo de gases de TFT. Se anticipa que su nivel de conocimiento se incrementará por medio de prácticas voluntarias. En relación al sistema PTS y al sistema de tubo capilar, se debe evitar que algún de ingeniero de ENDE los opere por sí mismos ya que gas H_2S a alta presión o en alta concentración esta siempre implicado en estas mediciones; en su lugar, es deseable dejar tales mediciones a especialistas. Será mejor que los ingenieros de ENDE adquieran esas habilidades para evaluar aquellas de los subcontratistas de este tipo de mediciones, manteniendo la posición de propietario; por lo tanto, de ahora en adelante, será suficiente que entiendan el contenido, significado e importancia de este tipo de mediciones, y mejoraren sus habilidades de evaluar la calidad de los productos por medio de su propio esfuerzo voluntario.

Una cosa que cabe destacar es el hecho de que estos equipos de alta precisión requieren un programa de mantenimiento apropiado, incluyendo la calibración por sus fabricantes. ENDE no solo debe continuar con el aprendizaje de su funcionamiento, sino también con el mantenimiento de los equipos.

(4) Propuestas basadas en las pruebas de producción y las actividades de monitoreo ambiental.

Como se mencionó anteriormente, el proyecto tuvo éxito en la educación de ingenieros de ENDE a través de pruebas de producción y prácticas de monitoreo ambiental asociadas. De acuerdo a lo anterior, el proyecto ha logrado la mejora de la comprensión de las tecnologías geotérmicas entre ingenieros ENDE, contribuyendo en algún grado a la mejora de la capacidad de la Empresa para desarrollar proyectos de plantas de energía geotérmica. Sin embargo, el conocimiento acerca de desarrollo geotérmico en el

personal de ENDE es aún insuficiente y esto es debido a que por el proyecto aun no estar en fase de construcción la asignación de personal dentro de la Empresa es inestable. Todavía hay cuestiones que hay que resolver para que ENDE pueda jugar un papel central en el desarrollo de energía geotérmica en este y otros campos en Bolivia. Para lograr el objetivo principal del proyecto, es decir, el desarrollo en el campo Sol de Mañana avanzando hacia la etapa de construcción de una central generadora, el continuo desarrollo de la capacidad de ENDE será indispensable. En otras palabras, si bien se prevé que el desarrollo de Sol de Mañana avance en etapas iniciando con la perforación de pozos de producción y reinyección y seguida por la construcción de la planta de energía, la capacidad de ENDE es todavía insuficiente para desempeñar un papel central en estas actividades. La transferencia de conocimientos a ENDE en tecnologías necesarias para el desarrollo del campo de vapor, la construcción de planta y la ejecución de proyectos es aparentemente necesaria.

5.2 Cambios de PDM

Aun cuando el proyecto inició en Marzo de 2011, la larga discusión entre los Gobiernos de Japón y Bolivia, centrada principalmente en temas como la duración del proyecto y sus costos, ha causado un enorme retraso en los sub-proyectos asociados. Después de negociaciones intergubernamentales de alto nivel acerca de la continuación bajo un préstamo bajo la Asistencia Oficial para el Desarrollo, el Gobierno de Bolivia emitió una carta para la continuación de la Asistencia Oficial para el Desarrollo. Para los sub-proyectos asociativos, que originalmente vencieron en marzo de 2012, el Comité de Coordinación Conjunto (CCC) llegó a la conclusión de extender la duración de la cooperación hasta Marzo de 2013, ya que los componentes principales del proyecto, tales como las pruebas de producción y el monitoreo del medio ambiente aún no se habían ejecutado. Adicionalmente se conoció que la autoridad reguladora del proyecto (el Ministerio de Hidrocarburos Energía de Bolivia, MHE) no poseía la suficiente capacidad de gestión de desarrollos geotérmicos debido a falta de experiencia en proyectos de ese tipo. De esa manera se reconoció la necesidad de mejorar la habilidad del MHE para la gestión y ejecución de este tipo de proyectos.

También se encontró que sería provechoso, tanto para el MHE como para ENDE, ampliar su entendimiento del marco de un préstamo ADO mediante la realización de viajes de estudio donde estén en marcha proyectos de desarrollo de energía geotérmica, de tal forma que se pudiera compartir la información con las autoridades de dichos países. Bajo estas premisas, se hicieron modificaciones a los elementos de trabajo que figuran a continuación.

- (1) Mejora de la capacidad de ENDE en estudios de pozos, monitoreo y mediciones y del MHE para la gestión y supervisión de desarrollos geotérmicos.

Para mejorar la capacidad del MHE en la gestión y supervisión de desarrollos geotérmicos, conjuntamente a la ampliación de su entendimiento acerca de las pruebas de producción y el monitoreo del medio ambiente, así como también acerca de los procedimientos necesarios para el desarrollo del campo de vapor y la construcción de la planta de generación, los siguientes elementos de trabajo deben llevarse a cabo:

- i) Profundizar la comprensión del MHE de los resultados obtenidos en el estudio previo de JICA, denominado "Estudio Preparatorio para el Desarrollo Geotérmico de Laguna Colorada (Sol de Mañana)" en 2010.
- ii) Apoyar la investigación del MHE acerca de precios para actividades relacionadas al suministro de vapor, tales como la perforación de pozos en el interior y exterior del país.
- iii) Apoyar la preparación de trabajos previos a la emisión de la orden para la perforación de pozos. Apoyo para la recolección y manipulación de la información necesaria para la preparación de los documentos de licitación para la selección del subcontratista de perforación.
- iv) Mejorar la comprensión del MHE acerca de las unidades de ejecución, acerca de la secuencia de perforación para el suministro de vapor, el contenido de las obras correspondientes a cada unidad de ejecución y el alcance de las responsabilidades.
- v) Mejorar la comprensión del MHE acerca de las obras necesarias en las fases previas a la contratación consultor (preparación de documentos de licitación, diseño), y el apoyo a su ejecución.

(2) Llevar a cabo un viaje de estudios

Implementación de un viaje de estudios a países con objeto de reforzar el conocimiento y entendimiento tanto del MHE como de ENDE en relación al desarrollo de la energía geotérmica.

Además, el período de ejecución del proyecto se pospuso en dos ocasiones, la primera hasta agosto de 2013 y luego hasta octubre de 2013, debido a la demora de la entrega al sitio de los equipos donados.

Por otra parte, debido a que la negociación de Notas Reversales se ha prolongado y no se ha llegado a la etapa establecida para la otorgación de un préstamo bajo la Asistencia Oficial para el Desarrollo, destinado especialmente a la construcción de la planta, no fue posible ni siquiera la ejecución parcial del mejoramiento de la capacidad de gestión y supervisión de desarrollos geotérmicos a favor del MHE y de ENDE, tal como se había previsto inicialmente.

De acuerdo a lo arriba mencionado, el PDM fue adicionalmente modificado para que la mayor parte de los esfuerzos se concentren en la promoción de la investigación anterior relacionada con este proyecto y en el apoyo al reforzamiento de la capacidad del Ministerio para la recopilación de información, especialmente referida al componente de perforación que, dentro del préstamo en yenes, se ejecutará en una etapa más temprana.

6. Capítulo 6 Evaluación final del proyecto

6.1 Evaluación final del proyecto

Se realizó la evaluación al final del proyecto desde el 16 al 28 de mayo del 2013 por las Personas en la siguiente tabla, con la cooperación de los expertos asignados al proyecto.

Tabla 6-1 Miembros de la misión de evaluación final

Nombre	Cargo	Título y organización
Takao ONO	Líder	Director del División de Sudamérica, Depto. de Latinoamérica, JICA
Shinji MARUYAMA	Miembro	División de Sudamérica, Depto. de Latinoamérica, JICA
Naoyuki AKAZAWA	Miembro	División de Planeación y Coordinación, Depto. de desarrollo industrial y de política pública, JICA
Akihiro MOCHIZUKI	Especialista en evaluación	ICONOS

La evaluación del proyecto se realizó en los siguientes aspectos; “relevancia”, “efectividad”, “eficiencia”, “impactos” y “sostenibilidad”.

6.2 Resultado de la evaluación final

La evaluación final se presenta en Apéndice 1 hasta 7 para el Matriz de Evaluación.

Apéndice

- **A1:** Matriz de la Evaluación : Logros de la Fase 0
- **A2:** Matriz de la Evaluación : Proceso de la Implementación de la Fase 0
- **A3:** Matriz de la Evaluación : Evaluación de Relevancia de la Fase 0
- **A4:** Matriz de la Evaluación : Evaluación de Efectividad de la Fase 0
- **A5:** Matriz de la Evaluación : Evaluación de Eficiencia de la Fase 0
- **A6:** Matriz de la Evaluación : Evaluación de Impacto de la Fase 0
- **A7:** Matriz de la Evaluación : Evaluación de Sostenibilidad de la Fase 0
- **A8:** Producto de Entrenamiento : "TRACER FLOW TESTING"
- **A9:** Fotografía de Actividades

APÉNDICE 5. Matriz de la Evaluación

APÉNDICE 5-1: Logros de la Fase 0

Artículos de la Evaluación	Información y Datos Necesarios (Indicadores)	Encuentros del Estudios
Logro del Objetivo General		
La capacidad de suministro de energía eléctrica en Bolivia es mejorada por el Proyecto Construcción de la central Geotérmica de Laguna Colorada.	1. "Proyecto Construcción de la Central Geotérmica de Laguna Colorada" empezará inmediatamente de esta asistencia técnica. 2. Los resultados de esta asistencia técnica serán utilizados.	• A través de esta asistencia técnica, la preva condición requerida para empezar el "Proyecto para la Construcción de la Central Geotérmica de Laguna Colorada" ha sido establecido. • La mayoría de los resultados de esta asistencia técnica ha sido lograda y se esta utilizando e la actividad de ENDE excepto 3-2. La actividad 3-2 sera implementada en el "Proyecto Construcción de la Central Geotérmica de Laguna Colorada".
Logro del Propósito del Proyecto		
El propósito del proyecto es mejorar la capacidad de ENDE para estudios de pozos, monitoreo y evaluación del medioambiental, además de fortalecer el conocimiento del MHE y ENDE en la gestión del proyecto durante la etapa preparatoria del mismo.	1. Informe de estudios de pozo es desarrollado 2. Informe de evaluación medioambiental es desarrollado	• El informe de estudios de pozo ha sido desarrollado y se actualiza constantemente cada vez que se viaja al sitio del proyecto. Cuando viaja el personal de ENDE al sitio, elabora el informe sobre la situación de pozos. La frecuencia de viajes al sitio es mensual. • El informe de la evaluación medioambiental ha sido desarrollado y se actualiza constantemente cada vez que se viaja al sitio del proyecto. La frecuencia de viajes al sitio es mensual. • Los dos informes mencionados ya se considera como parte del informe de viaje. Además el personal ya domina como elaborar los informes correspondientes.
Artículos de la Evaluación	Información y Datos Necesarios (Indicadores)	Encuentros del Estudios
Logro de los resultados		
1. La capacidad de ENDE en estudios de pozos será mejorada.	1. Manual para la pruebas de descarga de largo plazo es desarrollado	• Los equipos adecuados para probar pozo, seleccionados por los expertos, fueron utilizados en Oct. 2012 para implementar la Actividad 1. • Los equipos han sido instalado correctamente. • En el proceso de pruebas de descarga de largo plazo, el personal de ENDE y los expertos japoneses han trabajaron juntos para transferir correctamente las técnicas requeridas. • El manual (versión borrador) para pruebas de descarga de largo plazo ha sido elaborado en febrero 2013. • El manual ha sido utilizado en las capacitaciones convocados para los participantes al proyecto. La capacitación se organizó como 10 veces.
2. La capacidad de ENDE en monitoreo medioambiental y evaluación será mejorada	2. Manual para monitoreo y evaluación del medioambiente es desarrollado	• El manual para el monitoreo y evaluación medioambiental ha sido desarrollado en diciembre 2011 acatando normas legales y reglamentos Bolivianos del medioambiente. • El manual ha sido elaborado a través del estudios del área donde esta planeada la construcción de planta geotérmica. • El personal de ENDE ha realizado el estudio de pozos usando el manual acatando el reglamento sobre el medio ambiente para observar el nivel de H2S y otros compuestos químicos emitidos por la prueba de descarga.

3.La capacidad de MHE y ENDE en el desarrollo de recursos geotérmicos es mejorado	3. La profundidad de conocimiento para el desarrollo de recurso geotérmica	• El MHE y ENDE han incrementado sus entendimientos sobre la geotérmica mediante la visita a Japón y el envío de los expertos japoneses • Sin embargo, no se ha podido logrado suficientemente la actividad 3-2 por falta de firma del Convenio de Préstamo("L/A").
4.La capacidad del MHE y ENDE en proceso de construcción de plantas de energía geotérmica es mejorado.	4. La profundidad en los conocimientos acerca de construcción de plantas geotérmicas.	• El MHE y ENDE han incrementado sus entendimientos sobre la construcción de plantas geotérmica a través de la visita al Japón y el envío de los expertos japoneses. • Sin embargo, no se ha podido logrado suficientemente la actividad 4-2 por falta de firma de "L/A".

APÉNDICE 5-2:Proceso de la Implementación de la Fase 0

Artículos de la Evaluación	Información y Datos Necesarios (Indicadores)	Encuentros del Estudio
Implementación de las actividades	La planificación e implementación de las actividades del Matriz de Diseño del Proyecto	- La mayoría de las actividades planificadas han sido implementadas en el momento de la evaluación final. - Las siguientes actividades no han logrado suficiente resultado, por lo que sera necesario continuar la capacitación en futuro. - Actividad 3-2 "Asistencia en trabajos preparatorios requeridos antes de la elaboración del documento de licitación para perforación". - Actividad 4-2" Asistencia en trabajos preparatorios requeridos para la elaboración del documento de licitación para planta.
	¿Hay alguna actividad adicional? En su caso, ¿cual es la causa?	No hubo ninguna actividad adicional.
Relación Entre Expertos japoneses y la contraparte boliviana	¿La relación entre los expertos japoneses y C/P ha sido buena?	- Una constante comunicación, discusión continua y capacitación intensa para resolver los problemas han contribuido a establecer buena relación entre los expertos y la contraparte. - Los aportes de JICA y de la parte boliviana fueron importantes para facilitar la implementación de la Fase 0.
Reparto de responsabilidad entre el MHE Y ENDE en la Fase 0	¿Hay clara definición de responsabilidad entre el MHE y ENDE?	- El reparto de responsabilidad de ambas instituciones esta muy clara. El MHE es la entidad de planificación mientras ENDE es la de implementación. - El MHE se encarga de revisar el informe técnico elaborado por ENDE.
Propiedad de la organización ejecutora	¿Han participado activamente el MHE Y ENDE para la planificación e implementación de la Fase 0?	- El MHE Y ENDE han participado al proyecto muy activamente. En el inicio de la Fase 0. el MHE no ha sido considerado como contraparte, y sin embargo, por su propia solicitud para ampliar su conocimiento en el desarrollo del recurso geotérmico y construcción de plantas geotérmicas, ha participado como contraparte. - Tras la participación del MHE. la Matriz de Diseño del Proyecto ha sido modificada en Actividades. Resultado y Propósito de la Fase 0.
	¿El MHE y ENDE han asignado personal apropiado como contraparte?	Considerando la importancia del proyecto de la construcción geotérmica, ambas han designado personas apropiadas en sentido de experiencia y otros.
	¿El presupuesto ha sido asignado y desembolsado tal como planeado?	- En el inicio de la Fase 0, es pecialmente en 2011, por falta de coordinación entre el area técnica y la administrativa en ENDE, hubo inconveniencias de que no hubo desembolsos en momentos oportunos. Por esas inconveniencias, sucedió que no pudieron realizar viajes al sitio del proyecto en momentos oportunos. - Desde el 2do año de la Fase 0, se mejoro la cordinación entre dichas áreas. - El monto de presupuesto se ha incremen!ado de 3.387.705 Bs. (en 2012) a 7.616.7638s (en 2013)
Relación con otros cooperantes	¿Ha existido la colaboración o duplicación con otros cooperantes internacionales?	- No hay colaboración ni duplicidad con otras organizaciones cooperantes. - Según ENDE, cuando se firme "L/A", BID financiara la construcción des sistema de transmisión de la electricidad generada por el Proyecto.
Los factores desfavorables y favorables	¿Había algunos factores favorables o desfavorables para la Fase 0?	ENDE no tenia suficiente experiencia sobre el tramite para la importación cuando hizo gestion por la primera vez.

APÉNDICE 5-3:Evaluación basada en los Cinco Criterios

Relevancia: Alta

Artículos de la Evaluación	Información y Datos Necesarios (Indicadores)	Encuentros del Estudio
Necesidad		
¿El propósito de la Fase 0 corresponde a la necesidad del grupo objeto?	¿La construcción de la planta geotérmica de Laguna Colorada corresponde a la necesidad de Bolivia?	- Según datos aportados por ENDE, la demanda energética llegaría a 1,112 MW, mientras la capacidad máxima era de 946 MW en 2008. - El área objeto está ubicada en el suroeste de Bolivia donde consume mayor cantidad de electricidad por la industria minera. - Además del área mencionada, el gobierno Boliviano tiene la política de extender plantas geotérmicas con el fin de diversificar fuentes de electricidad.
Prioridad		
La coherencia con el Objetivo General y la política nacional de desarrollo de Bolivia	¿La construcción de la planta geotérmica de Laguna Colorada corresponde a la política de ENDE y el plan de desarrollo del gobierno boliviano?	- En el informe anual de ENDE "Memoria 2010", fue presentado el Proyecto. - En 2012 la energía geotérmica fue agregada como una nueva energía para diversificación. - Según el plan del gobierno Boliviano, la energía geotérmica se considera como una alternativa no susceptible del factor exterior
La coherencia de la política de cooperación de Japón y programa de JICA.	¿Hay algún cambio de política del Japón y programa de JICA después del inicio de la Fase 0 del proyecto?	No hay cambio sobre el programa de asistencia del Japón ni la estrategia de asistencia de JICA para Bolivia elaborada en junio 2012.
Relevancia del acortamiento		
¿El acortamiento de la Fase 0 es apropiado?	¿Hay algún modelo que pueda aplicarse a la Fase 0 de Laguna Colorada?	Según las experiencias en Japón, hay varias experiencias aplicables a la Fase 0
¿Japón tiene competitividad en esta área de cooperación técnica?	¿Ha sido utilizada la experiencia semejante de otro proyecto?	Japón tiene alta competitividad sobre el diseño y la construcción de la planta generadora geotérmica.

Efectividad: Relativamente Alta

Artículos de la Evaluación	Información y Datos Necesarios)	Encuentros del Estudio
El alcance del Propósito del Proyecto		
¿El propósito de la Fase 0 ha sido apropiado?	¿El nivel de indicador aplicado al Propósito de la Fase 0 es apropiado?	Han sido logrados hasta el nivel esperado los dos indicadores del Propósito de la Fase 0: "Informe de estudios de pozos es desarrollado" y "Informe de evaluación medioambiental es desarrollado."
Relación de causa-efecto		
¿Contribuirán los Resultados al Propósito de la Fase 0?	¿La capacidad de ENDE sobre el estudio de pozos y la evaluación medioambiental ha sido mejorada?	- Talleres en 10 ocasiones y el entrenamiento en trabajo utilizando el "Manual de Pruebas de Producción en Pozos Geotérmicos (borrador)" han reforzado la capacidad de ENDE. - Cuando los ingenieros de ENDE viajan al lugar de proyecto, elaboran el informe de las pruebas de pozos, documento que deben adjuntar al informe de viaje de trabajo. - Se ha fortalecido la capacidad de ENDE acerca de los monitoreos medioambientales mediante el manual de la evaluación medioambiental elaborado y el entrenamiento en trabajo. - Cuando los ingenieros de ENDE viajan al lugar de proyecto, elaboran el informe del monitoreo medioambiental, documento que deben adjuntar al informe de viaje de trabajo.
	¿El entendimiento del MHE y ENDE sobre el desarrollo de recursos geotérmicos y la construcción de la planta ha sido mejorado?	- Se ha profundizado el conocimiento sobre aspectos como riesgos del desarrollo de recursos geotérmicos mediante el envío de expertos y la visita al Japón. - Por otra parte, en cuanto a los preparativos para elaborar los documentos de licitación para la perforación, no se ha podido avanzar suficientemente por falta de la firma de "L/A" - ENDE ha profundizado la comprensión y conocimiento sobre la construcción de plantas geotérmicas, conocimiento necesario en la etapa de ejecución del Proyecto, mediante el envío de expertos y la visita al Japón. En cuanto al MHE, ha mejorado la comprensión y conocimiento, mediante el envío de expertos, sobre la construcción de plantas geotérmicas, conocimiento necesario para supervisar las actividades de ENDE. - Por otra parte, en cuanto a los preparativos para elaborar los documentos de la licitación para la construcción de la planta geotérmica, no se ha podido concluir una parte por falta de la firma de L/A.
¿Hay algunos factores desfavorables para alcanzar el Propósito de la Fase 0?	¿El personal del MHE y ENDE está activamente involucrado a la Fase 0?	Ambas entidades han participado y colaborado muy activamente a la Fase 0.
	¿Hay otro factor externo?	Al inicio de la Fase 0, especialmente en 2011, había inestabilidad de personal. Pero desde 2012 la situación se ha mejorado y solucionado.

Eficiencia: Mediana

Artículos de la Evaluación	Información y Datos Necesarios (Indicadores)	Encuentros del Estudio
Grado de alcance de los Resultados		
¿Los Resultados se han logrado tal como esperado? ¿Hubo factor desfavorable?		La Fase 0 ha conseguido los resultados esperados. Sin embargo, se vio obligado a extender su periodo 17 meses más que el plazo original, debido a la demora de adquisición de los equipos y la falta de "L/A".
¿Los resultados son suficientes para lograr el Propósito de la Fase 0?		Las actividades han sido implementadas de acuerdo con el plan y los aportes de la Fase 0 para producir los Resultados esperados.
Relación entre Aportes, Actividades y Resultados		
¿Las Actividades han sido suficientes para generar los Resultados?	¿Las Actividades contribuyen al trabajo preparatorio de la construcción geotérmica?	Las actividades han contribuido para lograr parcialmente la meta, pese a la demora ocasionada por el retraso de adquisición de los equipos y la falta de "L/A".
	¿Los datos recolectados y el análisis a través de estudio y prueba de pozo son apropiados?	Los datos se han conseguido a través de la prueba en largo tiempo, actividades minuciosas ya intensas en campo de los expertos con los equipos y los métodos adecuados
	¿Los datos recolectados a través del monitoreo medioambiental para el análisis son apropiados?	- El manual para el monitoreo del medio ambiente ha sido elaborado respetando las leyes de Bolivia y las normas internacionales. - Los expertos han capacitado al personal de ENDE in situ, de la misma manera que indica el manual elaborado en el proyecto. Como resultado, cuando los ingenieros de ENDE viajaron al lugar de proyecto, elaboraron el informe del monitoreo medioambiental, documento que deben adjuntar al informe de viaje de trabajo.
Momento de los aportes		
¿La calidad, cantidad y el momento de ejecutar aportes han sido adecuadas para producir los Resultados?	¿Los aportes han sido adecuados en el sentido de cantidad y calidad, además para implementar las actividades como planeadas?	- Un número apropiado de expertos ha sido enviado en momentos oportunos. Los expertos han contribuido a una administración eficiente de la Fase 0. - Según la respuesta al cuestionario, la contraparte boliviana evalúa altamente el contenido de la capacitación.
Factors that have affected the efficiency of the implementation process of phase 0		
¿El proyecto ha utilizado recursos locales efectivamente?	¿El proyecto ha utilizado efectivamente recursos disponibles como infraestructura y recursos humanos?	La Fase 0 ha utilizado todos los recursos disponibles tales como infraestructura y recursos humanos.
¿Hay factores favorables o desfavorables para mantener la eficiencia para la Fase 0?		- La Fase 0 demoró tanto que obligó extender el período de cooperación, de quince meses previstos en principio a treinta y dos meses, más del doble de tiempo del plan original. - Esto se atribuye a dos causas: la primera es por la extensión de las negociaciones entre ambos países del préstamo AOD para el Proyecto y consecuentemente se tuvieron que suspender la adquisición de los equipos y las actividades. - La segunda es por la adquisición de los equipos especiales del sector geotérmico que requirió mayor tiempo por su propia particularidad. No obstante, la ejecución de la Fase 0 permitió identificar posibles problemas de logística y técnicos del Proyecto y recopilar previamente información importante y obtener experiencias prácticas para tomar medidas necesarias.

Impacto: Alto

Artículos de la Evaluación	Información y Datos Necesarios (Indicadores)	Encuentros del Estudio
La posibilidad de lograr el Objetivo General		
¿Hay alta posibilidad de lograr el Objetivo General?		• Con que se firme "L/A", será muy alta la probabilidad de llevarse a cabo el Proyecto, que es el Objetivo General de la Fase 0. • Esto se atribuye al mejoramiento de la parte administrativa de ENDE sobre la adquisición, transporte e instalación de los equipos mediante la ejecución de la Fase 0.
¿Hay algún factor que impida el logro del Objetivo General?		• Falta de "L/A"
Efecto dominó		
¿Se ha producido algún efecto dominó	¿Hay algún efecto positivo y/o negativo de la Fase 01?	• Ningún impacto negativo se ha observado especialmente
Otros Impactos		
¿Hay otro efecto positivo y negativo que el Objetivo General, como temas de género, medio ambiente, derechos humanos, pobreza, etnicidad ya estado socio-económico?		• Ningún impacto se ha observado especialmente

Sostenibilidad: Relativamente Alta

Artículos de la Evaluación	Información y Datos Necesarios (Indicadores)	Encuentros del Estudios
Aspecto Politico		
¿Hay alta posibilidad de mantenerse la política después del término de la Fase 0?	¿"El Proyecto Construcción de la Central geotérmica de Laguna Colorada" mantendrá su alta prioridad en ENDE?	- El "Plan Óptimo del Sistema Interconectado Nacional (2012-2022) de Bolivia" describe la situación actual y la perspectiva del suministro de la energía eléctrica y al mismo tiempo prevé el crecimiento de la demanda energética especialmente en la región suroeste del país, siendo su respuesta unas de las prioridades de Bolivia. - La geotermia es la opción optima como fuente energética, por lo cual se concidera que sigue siendo politicamente alta la importancia del desarrollo geotérmico. - Además en términos de matriz energética, la diversificación de energía sería una de las prioridades de Bolivia. - ENDE considera importante como parte de su política responder a la demanda de la energía eléctrica del país a través de la ejecución del Proyecto.
Aspecto organizacional		
¿ENDE tiene intención de continuar las Actividades después del término de la Fase 0?	¿ENDE continuara empleando en la siguiente fase de proyecto las personas que participan en la Fase 0?	Actualmente ENDE vive un cambio estructural rápidamente una reforma institucional, lo que garantiza una mayor estabilidad de los recursos humanos.
Aspecto técnico		
¿ENDE tiene capacidad técnica suficiente para continuar las Actividades después del término de la Fase 0?	¿ENDE continuara empleando el monitoreo y evaluación de pozos y del medio ambiente después del término de la Fase 0?	- La capacidad de ENDE sobre la ejecución del Proyecto se ha reforzado hasta cierta nivel. Por otra parte, para mantener una alta sostenibilidad del Proyecto, es oportuno que ENDE siga trabajando en el reforzamiento de su capacidad incluso durante la ejecución del Proyecto. - ENDE instuye a sus técnicos la elaboración del informe de viaje que hacen periódicamente una vez al mes, al lugar de proyecto, usando los manuales de monitoreo medioambientel y de Pruebas de Producción de Pozos geotérmicos (borrador) preparados en la Fase 0.
Aspecto Financiero		
¿Hay presupuesto para continuar las actividades después del término de la Fase 0?	¿Hay presupuesto asegurado para mantener la promoción de la construcción de la planta geotérmica?	- En el comienzo de la Fase 0, debido a la muy baja tasa de ejecución del presupuesto y la demora de los proceso internos del desembolso afectaro las actividades en la Fase 0. - Además, hubo preocupaciones en algún momentos por la falta de estaboilidasd del personal. Sin embargo, cuando se acercaba el momento de la firma del L/A, ENDE incrementó el monto presupuesto para la Fase 0 (3.387.705Bs. en 2012 y 7.616.763 Bs. en 2011, segun fuentes de ENDE). - Se ha onsolidado la conciencia sobre la importancia de asegurar y mantener estable el personal y se están resolviendo los retos identificaods.
Otros Aspectos		
Hay algún factor que obsticulice la sostenibilidad?		Ningún factor obstaculizador se ha observado exepcto la demora de L/A entre Bolivia y Japón.

A8: Producto de entrnamiento : "TRACER FLOW TESTING" by Ms. Estefanía Olivia Tito Claros

[ESCRIBIR EL NOMBRE DE LA COMPAÑÍA]			
JICA PREPARATORY SURVEY FOR GEOTHERMAL POWER DEVELOPMENT SECTOR LOAN [Escribir el subtítulo del documento]			
			[Año]
[ESCRIBIR LA DIRECCIÓN DE LA COMPAÑÍA]			

TRACER FLOW TESTING

1. ANTECEDENTES

El Trace Flow Testing (TFT) es un sistema de medición químico, frecuentemente utilizado en la industria geotérmica, que permite llevar a cabo el monitoreo de la entalpía específica y el flujo másico de sistemas monofásicos y/o multifásicos, a través de la inyección y dilución de trazadores químicos específicos, dispuestos para cada fase del flujo. El sistema de medición proporciona la posibilidad de llevar a cabo una evaluación precisa tanto de la fase vapor como de la fase líquida en cualquier etapa del proceso de producción de energía geotérmica, incluyendo las fases de producción de pozo, generación en planta y reinyección: ello, sin perturbar ninguna de las condiciones de operación.

El método involucra la inyección flujo “arriba” de trazadores específicos en la línea de producción y la posterior recolección de un número específico de muestras a intervalos determinados de tiempo flujo “abajo” del punto de inyección (Figura 1), mientras esta tenga lugar. Para un sistema de flujo bifásico es necesaria la utilización de dos trazadores diferentes, compatibles con las fases correspondientes y la instalación de equipos de separación (Figura 2) e inyección (Figura 3) que no involucren mayores modificaciones en la disposición de la línea de producción.

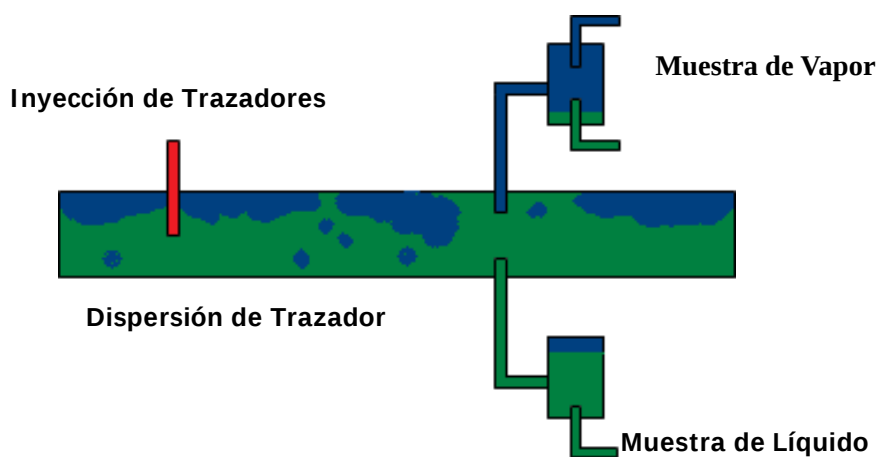


Figura 1: Esquema General de un Sistema TFT



Figura 2: Equipo de separación para toma de muestras.



Figura 3: Instalación de ballesta para inyección de trazadores.

La aplicación de un sistema de medición TFT debe, entre muchos aspectos, tener en cuenta la apropiada selección de los trazadores a utilizarse; para ello, los siguientes criterios deben ser considerados:

- El trazador de la fase líquida debe ser altamente soluble en agua.
- El trazador de la fase vapor debe tener elevada volatilidad.
- Los trazadores deben ser térmica y químicamente estables.
- Deberá haber técnicas de análisis disponibles para la determinación de sus concentraciones.
- El costo de los trazadores a ser inyectados deberá ser razonables, pues numerosas pruebas son requeridas para la obtención de datos fiables.
- Los trazadores a ser empleados deben ser no tóxicos.

EL uso del método TFT para la determinación de entalpía específica y flujo másico en los pozos del proyecto geotérmico Laguna Colorada requirió una evaluación detallada por la empresa correspondiente (THERMOCHEM) para la selección de trazadores apropiados. Aquellos que cumplieron las condiciones técnicas de aplicación fueron:

- Sulfur Hexafluoride - SF₆: Fase vapor.
- Thermo Trace: Fase líquida.

2. OBJETIVOS

En concordancia con los requerimientos de la Fase cero del Proyecto Geotérmico Laguna Colorada, los siguientes objetivos fueron propuestos:

- Determinar los valores de flujo másico de vapor y salmuera procedentes de la línea de producción.
- Determinar la entalpía específica del vapor y la salmuera generados durante la explotación del reservorio.

3. DESARROLLO

La aplicación del sistema de medición TFT en el Proyecto Geotérmico Laguna Colorada requirió de la ejecución de las siguientes tres etapas:

3.1 INYECCIÓN DE TRAZADORES

La inyección de trazadores fue realizada utilizando un MicroMod System para ambientes extremos (Figura 4). La relación de flujo entre el trazador de la fase vapor y el trazador de la fase líquida fue de 5:1, por lo que el gas SF_6 fue inyectado a una velocidad volumétrica constante de 100ml/min, mientras el ThermoTrace fue inyectado a la línea de producción a flujo constante igual a 20 ml/min. La inyección de ambos trazadores se extendió por un periodo de 35 minutos.

Se pretende que el sistema de medición TFT se realice de manera frecuente durante todas las pruebas de producción con el fin de lograr la obtención de resultados adecuados para la realización de análisis comparativos.

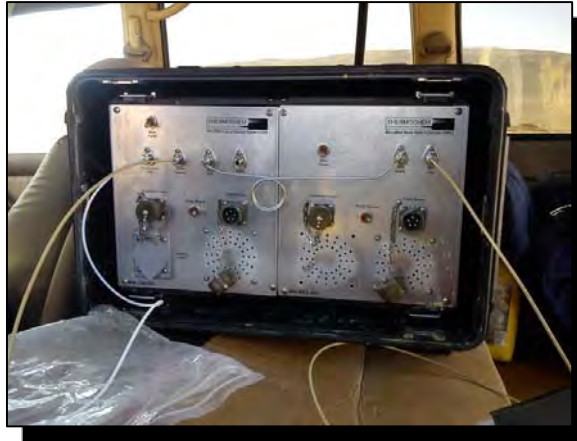


Figura 4: MicroMod System para Ambientes Extremos

3.2 ANALISIS DE LA FASE VAPOR

El análisis de la concentración de SF_6 en la fase vapor fue realizado utilizando un equipo de cromatografía de gases acoplado a un detector de captura de electrones (Figura 5). Para ello, se elaboro una curva de calibración realizando la inyección de un gas estándar a diferentes presiones y graficando el área bajo la curva obtenida en función de estas. Posteriormente, se llevo a cabo la lectura de las muestras, el tamaño de Loop utilizado fue de 0.1ml, la temperatura y presión de inyección fueron de 250 °C y 20 PSI (aprox.) respectivamente.



Figura 5: Cromatografo de Gas Acoplado a DCE

3.3 ANALISIS DE LA FASE LIQUIDA

El análisis de las muestras de salmuera fue realizado utilizando un Fluorómetro Aqua Flow proporcionado por la empresa THERMOCHEM (Figura 6). De manera previa al análisis se preparo la una curva de calibración a partir de un “working standar” preparado utilizando la dilución original del ThermoTrace inyectado y una matriz de agua destilada-salmuera. La lectura de las muestras se realizo llevando a cabo diluciones 1:2 para garantizar una obtención de datos más confiable. Las condicione de análisis fueron de temperatura y presión ambiente.



Figura 6: Fluorómetro Aqua Flow

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos por la aplicación del método de medición TFT en el pozo SM-1 de campo sol de Mañana, para un flujo regulado con una placa de orificio de 2plg se muestran a continuación.

Tamaño Loop (ml)	Presion de Loop (psia)	PPMv SF6 en Std.	Area	Moles SF6	Moles Pred.	% Diff
0,10	2,06	10,00	50,2546	5,938E-12	3,832E-12	-35,46%
0,10	5,22	10,00	160,5994	1,505E-11	1,654E-11	9,94%
0,10	10,18	10,00	286,3657	2,934E-11	3,103E-11	5,74%
0,10	15,50	10,00	412,2903	4,468E-11	4,553E-11	1,91%
0,10	20,07	10,00	502,506	5,785E-11	5,593E-11	-3,33%

Tabla 1: Datos de la curva de calibración para el análisis de SF₆

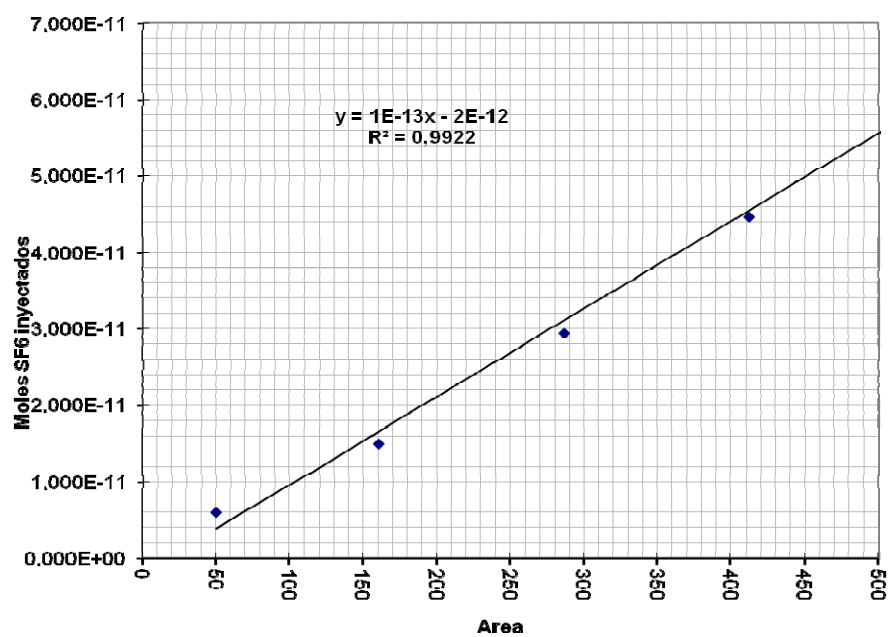


Figura 5: Curva de Calibración para Análisis de SF₆

Numero Lab.	Volumen Envase	Peso Inicial	Peso Antes de Vacio	Peso Recibido	Scrub	Dens. Muestra	LV	HS	Presion Inicial Envase	Presion de Inyección	Presion de Loop (psia)	Area	PPMw
BC997	581,20	370,30	437,4	580,20	64,53	1,01	207,20	374,00	21,96	22,82	22,28	762	4,399E-01
BC997	581,20	370,30	437,4	580,20	64,53	1,01	207,20	374,00	23,23	22,47	9,98	428	5,374E-01
BC981	591,57	375,10	437,6	590,10	59,93	1,01	212,30	379,27	22,77	23,76	10,03	346	4,276E-01
BC983	584,99	371,00	436,4	588,20	62,83	1,01	214,50	370,49	21,91	23,30	10,12	370	4,421E-01
C1205	576,70	373,80	440,2	605,20	63,83	1,01	228,69	348,01	23,32	22,45	10,00	367	3,691E-01
BC979	595,45	368,20	431,8	604,90	61,03	1,01	233,99	361,46	22,30	23,88	10,06	403	4,242E-01

Tabla2: Resumen de datos Análisis de Muestras de SF₆ Pozo SM-1 (PO 2plg.)

Tabla 3: Datos de la Curva de Calibración para el Análisis de TFT

Lectura	Conc. Estandar	Ppb Predecid.	% Diff
79,78	79,2	66,94	-15,50%
153,9	158,4	152,74	-3,60%
261,6	237,7	277,42	16,72%
283,6	316,9	302,88	-4,42%
376,6	396,1	410,54	3,64%
428,5	475,3	470,62	-0,99%
485,7	554,6	536,84	-3,20%
554,9	633,8	616,94	-2,66%
670,2	713,0	750,41	5,25%
686,2	792,2	768,93	-2,94%

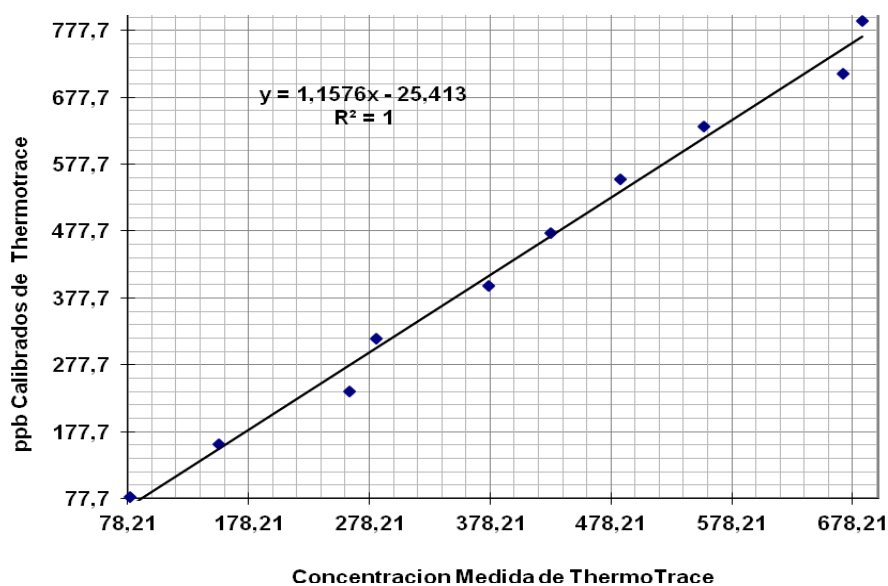


Figura 6: Curva de Calibración para el Análisis de TT

Tabla 4: Resumen de datos Análisis de Muestras de TT, Pozo SM-1 (PO 2plg.)

Numero de Muestra	Lectura (ppb)	Peso Inicial Envase (g)	Peso Final Envase (g)	Factor de Delusion	Concentración de la Muestra (ppb)	Concentración Final de Muestra (ppb)
124143	615,5	44,5	559,1	2,0	687,1	1374,2
124147	667,0	44,5	578,1	2,0	746,7	1493,4
124168	635,4	44,5	592,7	2,0	710,1	1420,3
124166	608,1	44,5	592,4	2,0	678,5	1357,1
124145	591,0	44,5	594,3	2,0	658,7	1317,5

Numero de Laboratorio	Intervalo de Muestra		Presion de Separador Barg	5 % Thermo Tracer Flujo de Inyección, g/min	Ppb Trazador en Salmuera	Flujo de Salmuera Tn/hr
124143	10:20	10:25	1.6	9,94	1406,5	21,17
124147	10:25	10:30	1.6	10,16	1553,6	19,60
124168	10:30	10:35	1.6	10,43	1463,3	21,36
124166	10:35	10:40	1.6	10,63	1419,3	22,45
124145	10:40	10:45	1.6	11,19	1378,8	24,33
Brine Flowrate Spread (T/hr)						4,72
Desviación Estandar						1,75
% RSD						8,02%

Tabla 5: Resumen de Resultados TFT - Fase Vapor

Tabla 6: Resumen de Resultados TFT - Fase Liquida

Numero Lab.	Intervalo de Muestra		Presion Separador Barg.	5.00 % SF6 Flujo Iny, SCCM	PPM _w Trazador En Vapor	Flujo de Vapor T/hr
BC997	10:20	10:25	1.6	100,0	4,399E-01	4,4
BC981	10:25	10:30	1.6	100,0	4,276E-01	4,6
BC983	10:30	10:35	1.6	100,0	4,421E-01	4,4
C1205	10:35	10:40	1.6	100,0	3,691E-01	5,3
BC979	10:40	10:45	1.6	100,0	4,242E-01	4,6
Steam Flow Spread (T/hr)						0,87
Desviación Estandar						0,36
% RSD						7,71%

Tabla 7: Resumen de Resultados TFT

Entalpia Promedio Kj/Kg		1199.2
Flujo Promedio Tn/hr		26.4
Temperatura °C		272.9
Fracción de Vapor a 1.6 Barg. (Promedio)		0.1764

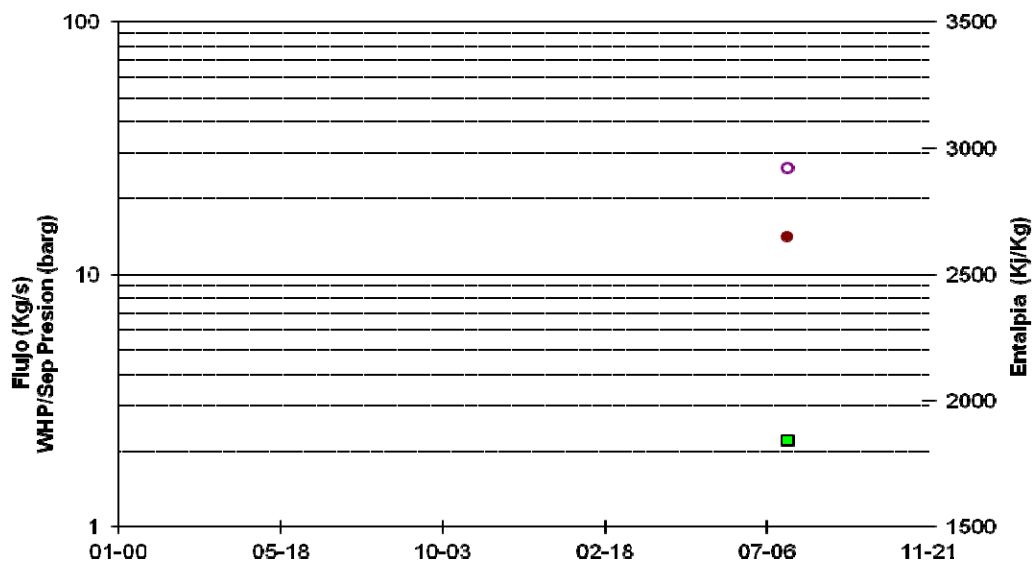


Figura 8: Resumen de Resultados TFT

■ Presión en separador de vapor ● Entalpia promedio ● Flujo de masa total, promedio

5. CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos, es posible realizar las siguientes afirmaciones:

- Los valores obtenidos de flujo másico correspondientes a la porción de vapor (4.66 Tn/h promedio) son notablemente más bajos que aquellos predichos por otros métodos utilizados bajo las mismas condiciones de operación. Probablemente ello se debe a errores de cálculo introducidos durante el uso del software proporcionado por la empresa correspondiente (THERMOCHEM).
- Los valores obtenidos para el flujo másico de salmuera (21.78 Tn/h promedio) fueron similares a aquellos obtenidos con diferentes métodos de medición (Vortex 26.38 Tn/h). Sin embargo, puede atribuirse cualquier variación a la sensibilidad del equipo o a la posible interferencia por turbiedad ocasionada por la presencia de sales precipitadas en las muestras.
- El valor de la entalpia promedio obtenida (1199.2 KJ/Kg) es poco elevada respecto a aquella determinada por métodos diferentes al TFT (1085.7 KJ/Kg), ello puede deberse a la acumulación de errores menores en los cálculos realizados utilizando el software correspondiente.

6. RECOMENDACIONES

Considerando las condiciones bajo las cuales se aplicó el método y se realizaron las mediciones de las fases de vapor y líquido, es necesario recomendar lo siguiente:

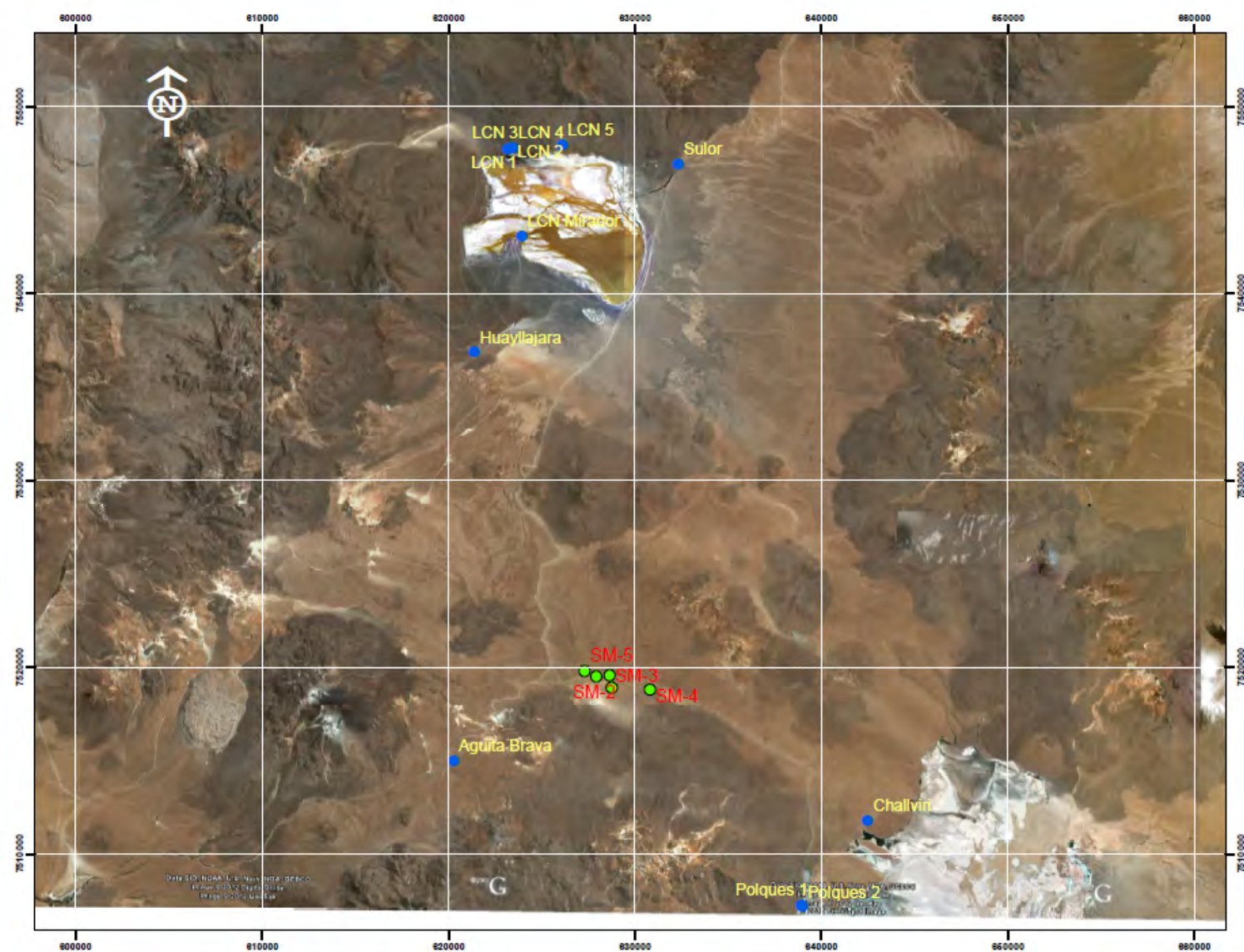
- Para evitar la presencia de posibles interferencias por turbiedad, debido a sales precipitadas, en el análisis de muestras de salmuera se debería aplicar un método de preservación de muestras apropiado, que incluya la adición, previa, de ácido nítrico a los frascos de muestreo o la filtración de estas previa al análisis.
- Con el fin de obtener datos comparativamente útiles, es preciso llevar a cabo la inyección de trazadores con mayor frecuencia durante las pruebas de producción de cada pozo.
- Es necesario coordinar una capacitación con la empresa THERMOCHEM con el fin de verificar la adecuada aplicación del método y garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos.

7. REVISION BIBLIOGRAFICA

- (1) Tracer Flow Testing Standard Operating Procedure, Rev. 1.1, THEROCHEM, 2012.
- (2) SF₆ Analysis Standard Operating Procedure, Rev. 1.1, THEROCHEM 2012.
- (3) Thermo Trace Analysis Standard Operating Procedure, Rev. 1.1, THEROCHEM, 2012

Estefanía Olivia Tito Claros
ING. QUIMICO JR.
EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD - ENDE

A9: Fotografía aérea y puntos de muestra en la área del Sol de Mañana



A9: Fotografía de Actividades

1) Estación meteorológica



Estación meteorológica

2) Prueba de reinyección en la primera actividad de estudio en el pozo SM-4



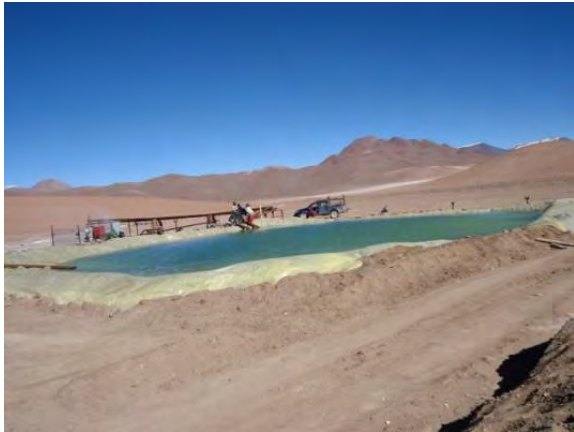
Transportación del generador electrica



Reparación de tubería de agua



Tubería de fosa



Llenando la fosa



Reparación de tubería de la fosa



Completación de la Fosa

2) Fotografías de prueba de producción



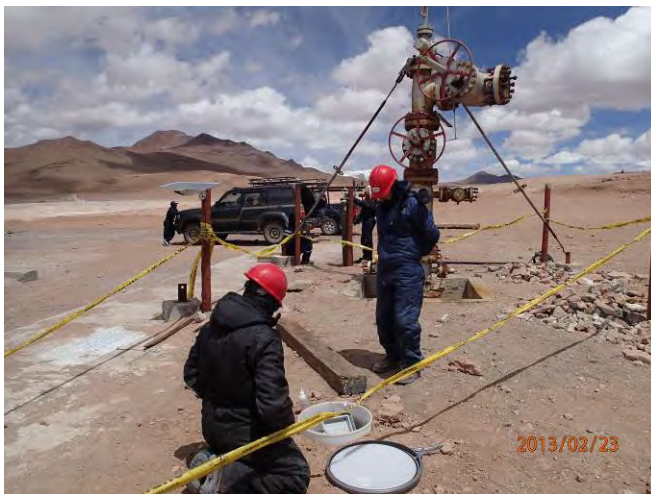
Instalación del tubería de HDPE de 12"



Cabrestante para el tubo capilar



Tubo capilar en el pozo SM-3



Registro del presión con tubo capilar en el pozo SM-1



Recuperación del tubo capilar en el pozo SM-3



Preparación para el resitro PTS(Presion, Temperatura, Spinner)



Armando la heramiente para el registro de PTS en le pozo SM-3



Operación del Slickline Winch para el registro PTS



Armando la herramienta para el registro de PTS en el pozo SM-1



Pozo SM-3 durante el registro estatica de PTS



Pozo SM-4 durante el registro estatica de PTS



Instalación de tubería en el
cabezal del pozo SM-4



Pozo SM-4 y su fosa



Tubería del cabezal en el pozo SM-4



Descanso en e pozo SM-4



inyector del trasador química para el TFT



Mini separador para coletcar las muestras



Mini separador para coleccionar las muestras



Muestra de gas recogido en el mini separador



Equipo de enfriamiento de
Gas (Izquierda) Salmuera(Derecha)



Injectando el trasador quimica (TFT)



Cromatógrafo para el TFT, bomba de Nitrógeno de alta pureza, bomba vacío



Encrustación en el sensor del medidor de flujo para agua caliente Vortex



Instalación de tuberías para la prueba de producción en el pozo SM-1



Prueba de producción en el pozo SM-1



Intercambio del orificio para el control de flujo



Prueba de producción en el pozo SM-3



El silenciador durante la prueba de producción



Caja vertedero durante la prueba de producción



El pozo SM-3 durante la prueba de producción



Construcción del fosa para el pozo SM-5



Transportación de agua desde la fosa de pozo SM-1 a fosa de pozo SM-5



Instalación de la valvula lateral de pozo SM-2



Eliminación del encrustación del
cabezal en el pozo SM-2



Precipitación de encrustación del
cabezal en el pozo SM-2



Construcción del equipo para la prueba
de producción en el pozo SM-2



Prueba de producción en el pozo SM-2



Prueba de producción en el pozo SM-2 (con el reflección en el agua del vapor desde el pozo SM-2)



Muestra de gas recogido en el pozo SM-2



Medición en la caja vertedora durante la prueba de producción en el pozo SM-2