

**Estado Plurinacional de Bolivia**  
**Empresa Nacional de Electricidad (ENDE)**

**ASISTENCIA ESPECIAL PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO  
(SAPI)  
PARA EL PROYECTO DE  
CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA  
GEOTÉRMICA LAGUNA COLORADA  
(FASE 1 DE LA PRIMERA ETAPA)  
INFORME FINAL**

**AGOSTO, 2015**

**AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL  
DEL JAPÓN (JICA)**

**NIPPON KOEI CO., LTD.  
JMC GEOTHERMAL ENGINEERING CO., LTD.  
SUMIKO RESOURCES ENGINEERING AND  
DEVELOPMENT CO., LTD.**

<b>5R</b>
<b>JR</b>
<b>15-020</b>

**Estado Plurinacional de Bolivia**

**Empresa Nacional de Electricidad (ENDE)**

**ASISTENCIA ESPECIAL PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO  
(SAPI)**

**PARA EL PROYECTO DE  
CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA  
GEOTÉRMICA LAGUNA COLORADA  
(FASE 1 DE LA PRIMERA ETAPA)**

**INFORME FINAL**

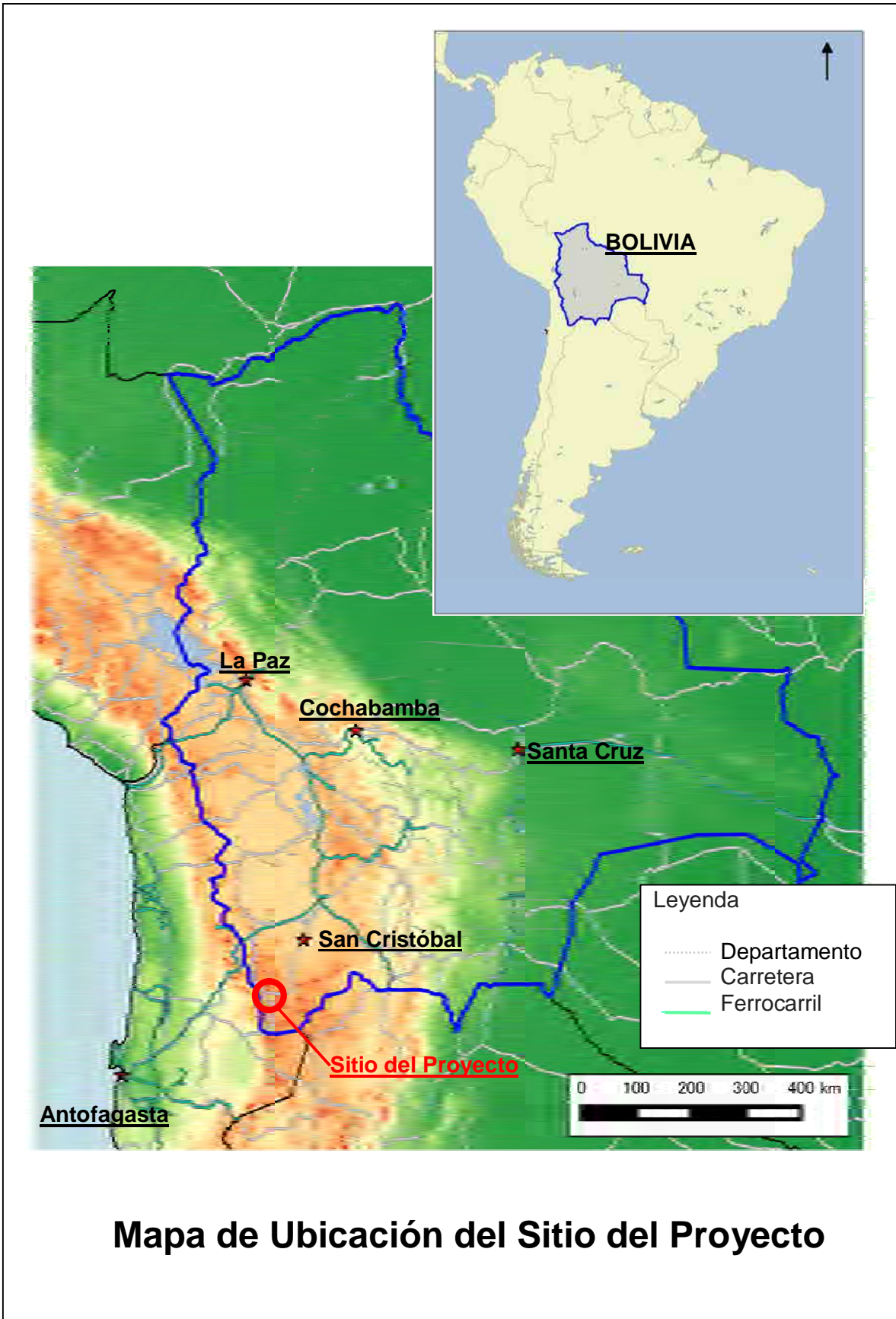
**AGOSTO, 2015**

**AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL  
DEL JAPÓN (JICA)**

**NIPPON KOEI CO., LTD.**

**JMC GEOTHERMAL ENGINEERING CO., LTD.**

**SUMIKO RESOURCES ENGINEERING AND  
DEVELOPMENT CO., LTD.**



### Abreviaturas

BOQ	Lista de Cantidades (Bill of Quantity)
ENAA	Asociación de Ingeniería Avanzada del Japón (Engineering Advancement Association of Japan)
ENDE	Empresa Nacional de Electricidad
ENEL	Entidad Nacional para la Energía Eléctrica (Ente Nazionale per l'energia Elettrica)
FIDIC	Federación Internacional de Ingenieros Consultores (Fédération Internationale des IngénieursóConseils)
IADC	Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (International Association of Drilling Contractors)
ICB	Licitación Pública Internacional (International Competitive Bidding)
IDB	Banco Interamericano de Desarrollo (InternóAmerican Development Bank)
JETRO	Organización Japonesa de Comercio Exterior (Japan External Trade Organization)
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón (Japan International Cooperation Agency)
KOP	Punto de Inicio (Kick Off Point)
LCB	Licitación Pública Local (Local Competitive Bidding)
MDB	Banco de Desarrollo Multilateral (Multilateral Development Bank)
MT	Magnetotelúrica (Magnetotelluric)
PTS	Presión, Temperatura y Velocidad (Pressure Temperature and Spinner)
SAPI	Asistencia Especial para la Implementación del Proyecto (Special Assistance for Project Implementation)
UTM	Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (Universal Transverse Mercator)
YPFB	Yacimientos Petroliferos Fiscales Bolivianos

**ASISTENCIA ESPECIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL  
PROYECTO (SAPI)**

**PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA  
GEOTÉRMICA LAGUNA COLORADA (FASE 1 DE LA PRIMERA  
ETAPA)**

**INFORME FINAL**

**Resumen Ejecutivo**

**1. Introduction**

**1.1 Antecedentes**

El año 2014, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) firmó un contrato de préstamo AOD de Japón con el Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia, para el Proyecto de Construcción de la Planta Geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Primera Etapa). Se ha planificado la perforación de cuatro pozos de producción y tres pozos de reinyección para la construcción de una planta de energía geotérmica de 50 MW.

La Planta Geotérmica Laguna Colorada será la primera planta de energía geotérmica en Bolivia, se prevé contratar al contratista para la perforación de los pozos geotérmicos del Proyecto, de entre las compañías privadas competentes, incluyendo a las compañías perforadoras de petróleo / gas.

Antes del inicio del Proyecto, se requiere la revisión técnica de los informes existentes sobre las perforaciones de pozos, así como la evaluación de los tipos de contrato aplicables a la perforación de pozos.

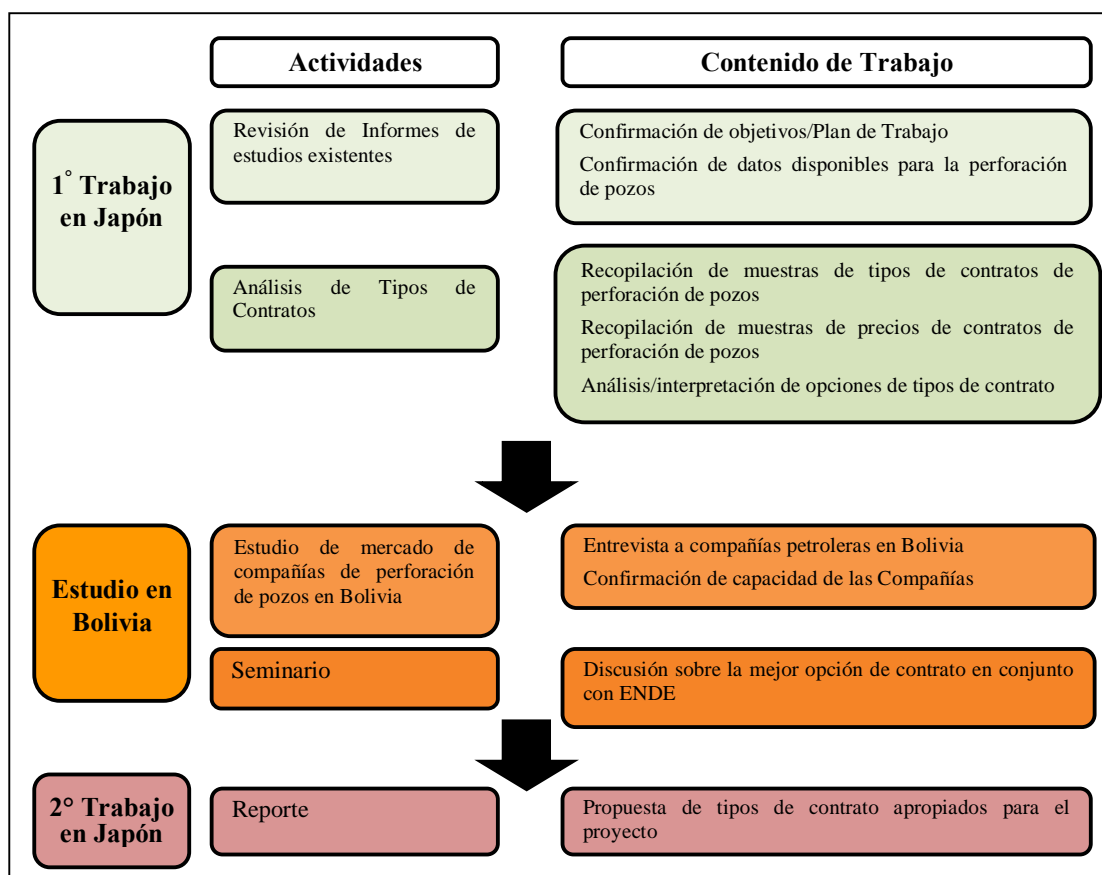
Bajo tales circunstancias, JICA decidió llevar a cabo la Asistencia Especial para la Implementación del Proyecto (SAPI) para el Proyecto de Construcción de la Planta Geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Primera Etapa), a fin de garantizar la implementación rápida y sin contratiempos del proyecto.

**1.2 Objetivos del Estudio**

Los objetivos del estudio son la revisión de los informes existentes, la evaluación de los tipos de contrato aplicables a las perforaciones de pozos del Proyecto y la realización de seminarios para que el personal de ENDE desarrolle una comprensión detallada de las condiciones del contrato para la contratación de las compañías perforadoras de pozos.

**2. Metodología del Estudio**

El período de estudio fue de siete (7) meses, aproximadamente, de enero a julio del 2015. La Figura 1 muestra el Flujograma de Trabajo del Estudio.



Fuente: Equipo de estudio de JICA

Figura 1 Flujograma de Trabajo

### 3. Resultados de la Revisión Técnica

#### 3.1 Revisión de los Estudios Existentes

##### 3.1.1 Estudio Geológico y Geoquímico

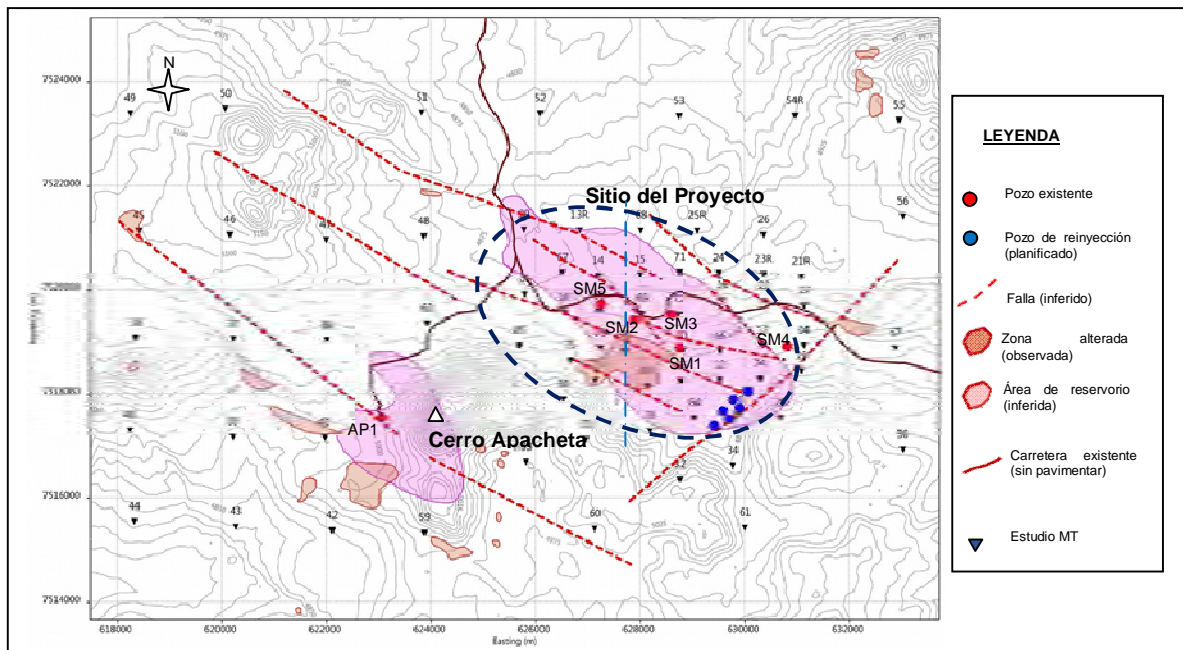
Existen cinco pozos exploratorios geotérmicos (SMó 1 ~ SMó 5) en el sitio del Proyecto ubicado en el Yacimiento Geotérmico Sol de Mañana, según se muestra en la Figura 2. Otro pozo exploratorio geotérmico (APó1) se encuentra ubicado en la falda oeste del Cerro Apacheta, a unos 5 km al oeste del sitio del Proyecto. Las coordenadas y las cantidades de los pozos existentes se resumen en el Cuadro 1.

Los componentes geológicos del sitio del Proyecto son rocas piroclásticas del Neógeno divididas en cuatro capas, a saber y en orden ascendente, la capa inferior de ignimbrita, la andesita, la capa superior de ignimbrita y la capa Cerro Apacheta. Se deduce que las rocas sedimentarias del Cretáceo yacen debajo de estas rocas piroclásticas.

Las rocas piroclásticas se inclinan suavemente hacia el Oeste. Los principales conjuntos de fallas se extienden en dirección ONOó ESE y NEó SO hacia el Reservorio Geotérmico Sol de Mañana; particularmente, las fallas ONOó ESE son las predominantes. Es probable que estos sistemas de fallas controlen el flujo y la distribución del fluido geotérmico en cada Reservorio de Sol de Mañana y Cerro Apacheta (la falda oeste).

Según los estudios geoquímicos, las características del fluido geotérmico en el Yacimiento Geotérmico Sol de Mañana son las siguientes:

- La mayor parte del fluido geotérmico puede originarse del agua meteórica, gana calor y su temperatura llega a ser 270 °C o más. El calor posiblemente se transfiere por el influjo del fluido de alta temperatura y/ o la conducción térmica.
- Una fuente de calor posiblemente ocurre a una profundidad mayor a la de los 1700 m desde el nivel del suelo, donde podría ubicarse el basamento de rocas sedimentarias.
- El sitio del Proyecto se considera un yacimiento geotérmico líquido dominante.
- La distribución del reservorio geotérmico parece limitarse al lado este debido a que la temperatura del SMó 4 es baja.



Fuente: Equipo de estudio de JICA, usando como referencia el informe del Estudio Preparatorio de JICA (2010) para la zona alterada y los datos y el área de reservorio inferida

Nota: Se dedujo las ubicaciones de las fallas sobre la base del análisis de los datos MT (CGG, 2013).

**Figura 2 Mapa de Ubicación de los Pozos Exploratorios y el Estudio MT**

**Cuadro 1 Resumen de los Datos de Estudio Existentes**

Rubros de Estudio	Cantidades						
	No.	Ubicación		Elevación (m)	Profundidad (m)	Año	Realizado por
		X	Y				
Pozos	SM61	628743.58,	7518885.60	4858.8	1178.5	1988	-
	SM62	627892.12,	7519428.50	4905.6	1486.5	1988	
	SM63	628596.10,	7519536.07	4884.8	1406.0	1989	
	SM64	630813.80	7518915.58	4840.5	1726.2	1989, 1991	
	SM65	627246.80	7519738.60	4903.5	1705.0	1992	
	AP61	****	****	****	1602.0	1987	
Estudio Geofísico	Estudio de resistividad eléctrica					1986	ENDE
	Estudio de gravedad (260 puntos)					1986	ENDE
	Estudio MT (69 puntos) y análisis de inversión tridimensional					2013	ENDE
Pruebas de Producción de Pozos	SM61, SM62, SM63, SM64, AP61					1987	UNDTCD
	SM62, SM65					1997	CFE
	SM61, SM63, SM62					2012	JICA

Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Nota: Coordenadas UTM Z19, WGS84

### 3.1.2 Estudio Geofísico

En este estudio se revisó los resultados del estudio de gravedad (1986) y el estudio MT (2013).

En el mapa de resistividad la distribución de la zona de alta resistividad por el método MT a 2,000 m.s.n.m. y a 2,900 m.s.n.m. se ajusta en gran medida a la distribución de la gravedad (según la anomalía de Bouguer). Esta zona indica el levantamiento de un basamento de alta resistividad y al cual podría comparársele con el basamento de gravedad (densidad).

El área del reservorio geotérmico está emplazada en una zona de alta gravedad y se compone de una zona tanto de fracturas como de fallas, según se indica en el primer mapa derivativo vertical. El cual indica la distribución de lineamientos alrededor de los pozos exploratorios existentes.

La sección transversal alrededor de los Pozos SM6 1, SM6 2, SM6 3 y SM6 5 muestra una estructura de resistividad de levantamiento inclinado de la capa de alta resistividad debajo de la capa de baja resistividad. Debido a que la distribución de la baja resistividad cerca de la superficie podía compararse con la distribución de la alteración hidrotermal, la baja resistividad alrededor de los pozos exploratorios existentes se comporta como las rocas de cubierta alteradas y las fracturas en el basamento de alta resistividad al fondo se consideran como el reservorio geotérmico.

El pozo existente SM6 4 está ubicado en la zona de alta gravedad y el levantamiento del basamento de alta resistividad debajo de la capa de baja resistividad, el cual puede considerarse como el reservorio geotérmico.

Las ubicaciones de las perforaciones planeadas se encuentran cerca de estos lineamientos<sup>1</sup> y se consideraría como que tiene estos lineamientos como objetivo. Dichos lineamientos se consideran como reservorio potencial porque corresponden a las estructuras geológicas estimadas por la distribución de la gravedad y la distribución de resistividad por MT. Según estas consideraciones, actualmente las ubicaciones de las perforaciones obtenidas por la información del estudio geofísico se consideran razonables y se cree que no es necesario hacer cambios significativos.

<sup>1</sup> lineamiento: Una característica geomorfológica que indica una estructura geológica subyacente, por ejemplo, una falla.



### 3.1.3 Datos de Perforación de los Pozos Existentes

Tal y como se mencionó anteriormente, hay cinco pozos existentes en el sitio del Proyecto. A continuación se describe los resultados de la revisión de los datos de perforación de los pozos en los informes existentes y las entrevistas realizadas.

#### (1) SM61

La perforación de este pozo tomó un tiempo relativamente largo, a pesar de ser el menos profundo de los cinco pozos perforados. En la primera etapa de la tubería de revestimiento (24 pulg. de diámetro), se requirió obras de extubación tres veces durante la instalación de la tubería de revestimiento, probablemente debido a muchos colapsos en la sección del pozo de poca profundidad.

#### (2) SM62

La velocidad de perforación de pozos mejoró a partir de las experiencias del SM61. En la primera etapa, se llevó a cabo inicialmente una perforación piloto con una barrena de 12 ¼ pulg. de diámetro y luego se utilizó un ampliador de 24 pulg. de diámetro para agrandar el pozo exploratorio. Sin embargo, se registró un tiempo en espera debido a la falta de agua fresca de abasto durante el trabajo de perforación del pozo.

#### (3) SM63

En la primera etapa, se llevó a cabo una perforación piloto con barrena de 12 ¼ pulg. de diámetro y luego se utilizó un ampliador de 24 pulg. para agrandar el agujero. Las obras de perforación del pozo se suspendieron por 95 días entre las perforaciones de pozo de la Segunda Etapa y la Tercera Etapa, debido a los problemas con las máquinas, etc. y por la baja temperatura del lugar (por debajo de 20 °C).

#### (4) SM64

En la primera etapa, se llevó a cabo una perforación piloto con barrena de 12 ¼ pulg. de diámetro y luego se utilizó un ampliador de 24 pulg. para agrandar el pozo exploratorio. La perforación del pozo se detuvo a una profundidad de 1,474.0 m. Aproximadamente, dos años más tarde, se reinició la perforación del pozo y se alcanzó a una profundidad de 1,726.20 m y se instaló una tubería de revestimiento ranurada alternando con tubería lisa de 7 pulg. en la sección de la Cuarta Etapa. En el informe, se describe una pesca de conos de barrena.

#### (5) SM65

Los registros de perforación y la información relacionada con los pozos no estuvieron disponibles. Según el cuadro de perforación, el trabajo de perforación se suspendió por 131 días durante el invierno.

### 3.1.4 Pruebas de Producción (Pruebas de los Pozos)

Las pruebas de producción en el sitio del Proyecto se llevaron a cabo tres veces: Las primeras, entre 19876 1990; las segundas, entre mayoó agosto 1997, y las terceras, entre diciembre 2012ó abril 2013.

#### (1) SM61

- Según la prueba de producción llevada a cabo entre diciembre del 2012 y enero del 2013, la tasa o velocidad de flujo total máxima fue aproximadamente de 285 t/ h y la tasa o velocidad de flujo de vapor máxima fue de alrededor de 50 t/h. La entalpía específica máxima del fluido de producción fue de aproximadamente 1,150 kJ/ kg. Estos valores fueron casi iguales a los resultados de la prueba de producción anterior de hace unos 25 años.

- La pared del pozo exploratorio es estable, y este pozo mantiene una alta capacidad de productividad.
- Los valores permeabilityóthickness product (kh) alrededor de SMó1 eran muy elevados, estimándose en 100 darcyó m.
- La temperatura máxima fue de 242° C (diciembre del 2012), la cual es casi igual a la temperatura medida 25 años atrás (aproximadamente 250 °C).

(2) SM62

- Según la prueba de producción llevada a cabo en abril del 2013, la tasa o velocidad de flujo total máxima fue aproximadamente de 280 t/ h y la tasa o velocidad de flujo de vapor máxima fue de alrededor de 54 t/ h. La entalpía específica máxima del fluido de producción fue de aproximadamente 1,150 kJ/ kg. Estos valores fueron casi iguales a los resultados de la prueba de producción anterior de hace unos 15 años.
- La pared del pozo es estable y este pozo mantiene alta capacidad de produccion.
- Los valores kh alrededor de SMó 2 eran muy elevados, estimándose en 100 darcyó m. Este valor es igual al de los resultados obtenidos en las pruebas de producción realizadas en el año de 1997.
- Según la prueba al pozo realizada en marzo del 2013, la temperatura alrededor de SMó 2 fue de 236 °C. Sin embargo, la temperatura relativamente baja podría haber sido causada por el agua inyectada. La temperatura debe ser igual a la temperatura medida hace unos 15 años (243 °C).

(3) SM63

- Según la prueba de producción llevada a cabo entre enero y febrero del 2013, la tasa o velocidad de flujo total máxima fue aproximadamente de 258 t/ h y la tasa o velocidad de flujo de vapor máxima fue de alrededor de 43 t/ h. La entalpía específica máxima del fluido de producción fue de aproximadamente 1,150 kJ/ kg.
- La condición del pozo seguía siendo buena en el 2013.
- Los valores kh alrededor de SMó 3 eran muy elevados, estimándose en 50 darcyó m.
- La temperatura máxima fue de 247 °C (diciembre del 2012), lo cual era casi igual a la temperatura medida 15 años atrás (aproximadamente 245 °C).

(4) SM64

- Según las pruebas a los pozos llevadas a cabo en diciembre del 2012, la temperatura máxima fue de 224 °C (diciembre del 2012), la cual era más baja que la temperatura de los otros pozos (240 °Có 250 °C).
- Casi igual a la temperatura que se registró hace unos 15 años (245 °C).
- Se dedujo las discontinuidades hidráulicas entre SMó 4 y otros pozos.
- Según los resultados de las pruebas de reinyección de SMó 4, la tasa o velocidad más elevada posible de agua de reinyección se estimó en 600 m<sup>3</sup>/ h o más, bajo las condiciones atmosféricas.

(5) SM65

- Según la prueba de producción llevada a cabo entre mayo y agosto de 1997, la tasa o velocidad de flujo total máxima fue aproximadamente de 220 t/ h y la tasa o velocidad de flujo de vapor máxima fue de alrededor de 35 t/ h. La entalpía específica máxima del fluido

de producción fue de aproximadamente 1,150 kJ/ kg.

- Los valores kh alrededor de SMó 5 se estimaron en 130 darcyó m, basándose en los resultados de la prueba de edificación. Según las pruebas de producción, el valor kh se estimó en 20 darcyó m.
- La temperatura máxima fue de 248 °C (mayo de 1997).

#### (6) APó1

- Según la prueba de producción llevada a cabo entre 1987 y 1990, la entalpía específica máxima del fluido de producción fue de aproximadamente 1,400 kJ/ kg. Sin embargo, la tasa o velocidad de flujo total fue más bien pequeña, como de unos 30 t/ h.
- Aunque la temperatura era alta, la productividad de APó 1 fue pequeña.
- La temperatura máxima fue de 245 °C (mayo de 1997).

#### (7) Efectos de Interacción entre Pozos

- De acuerdo al informe de JICA (2013), basado en los resultados de las mediciones de presión en las pruebas de producción, concluye que la interferencia entre los pozos SMó 1, SMó 2 y SMó 3 es baja.
- Sin embargo, es probable que la presión de SMó 1 disminuya ligeramente durante las pruebas de producción de SMó 2, lo cual podría indicar algún efecto de interacción entre SMó 1 y SMó 2.

### 3.2 Evaluación de los Objetivos de Perforación

#### 3.2.1 Verificación del Modelo Conceptual Propuesto para el Sistema Geotérmico

A fin de evaluar los objetivos de perforación, en esta sección se verifica el modelo conceptual propuesto del sistema geotérmico para el reservorio geotérmico del sitio del Proyecto.

##### (1) Estructura del Reservorio

- Las fallas ONOó ESE parecen controlar el flujo y la distribución del fluido geotérmico en cada reservorio de Sol de Mañana y Cerro Apacheta (la falda oeste).
- La falla NOó SE ubicada entre el pozo SMó 1 y el pozo SMó 4 actúa como una barrera hidráulica.
- La profundidad desde la superficie hasta unos 800 m se puede reconocer como rocas de la capa sello debido a la baja permeabilidad de dicha zona. La profundidad por debajo de 900.0 a 1,000.0 m puede reconocerse como un reservorio geotérmico altamente permeable.
- El registro de pozos indica que la temperatura puede ser de 240 °C a 250 °C, a excepción del pozo SMó 4, cuya temperatura puede bajar hasta 220 °C.
- Se puede esperar el desarrollo de fracturas altamente permeables debido a tres fallas que se encuentran muy juntas una a la otra en el yacimiento de Sol de Mañana.
- Debido a que las fallas ONOó ESE son fallas de tipo normal con un buzamiento<sup>2</sup> hacia el Oeste, los pozos nuevos van a seguir el plano de la falla desde el punto de inicio planeado, por tanto posiblemente no alcance el plano de la falla. Por esta razón, los pozos deben tener una suficiente desviación que permita alcanzar el plano de la falla. Aunque el ángulo de las fallas es casi vertical en el modelo, no es evidente, lo cual crearía incertidumbre en cuanto

---

<sup>2</sup> buzamiento: inclinación

al plan de perforación.

- No es posible determinar con precisión la profundidad de las fracturas productivas, debido a que el intervalo de profundidad de la perforación ciega (perforación con el total de circulación perdida) parece ser largo en los informes de perforación. A fin de determinar la profundidad de las fracturas sería necesaria una investigación más precisa, basándose en los resultados de las mediciones de presión en las pruebas de producción.
- Debido a que los pozos existentes se perforaron a lo largo de las fallas ONOó ESE y cerca de éstas, no se ha medido directamente la temperatura en el subsuelo de una zona distante de las fallas ONOó ESE. La temperatura podía ser relativamente baja dependiendo de la distancia desde las fallas, debido a que (1) el reservorio Sol de Mañana y el reservorio Cerro Apacheta (la falda oeste) parecen no ser continuos y (2) no existe manifestación geotérmica entre las zonas de Sol de Mañana y Cerro Apacheta. A fin de evitar el riesgo de perforar una zona de tan baja temperatura, los objetivos deben establecerse cerca de las fallas ONOó ESE. Sin embargo, en tal caso, se puede esperar una interferencia de la producción, debido a una corta distancia entre los pozos de producción.
- Una condición en el modelado de la estructura de reservorio se basa en el resultado de un estudio de resistividad eléctrica (el método Schlumberger). Se puede estimar que la línea transversal es de 1,000 m, indicando una relativamente poca profundidad del registro, de allí la insuficiente interpretación en la estimación de la profundidad del reservorio.

## (2) Fuente de Calor

- La fuente de calor se interpreta apropiadamente basándose en las actividades volcánicas del Cuaternario. La roca volcánica más joven es la andesita (hace entre 0.35 y 0.5 Millones de años) que se distribuye alrededor del Cerro Apacheta. Los volcanes activos alrededor del área del estudio son el Cerro Deslinde, el Cerro Volcán, los Cerros del Tatio, y el Volcán Tatio en los Andes occidentales. Una gran cámara magmática que apoya a estos volcanes activos parece ser la que suministra calor en una gran área, incluyendo el yacimiento del sitio del Proyecto.

## (3) Fluido Geotérmico

- El fluido caliente parece ascender principalmente hacia los alrededores del pozo SM ó1 (Sol de Mañana) y el pozo APó 1 (Cerro Apacheta).
- El fluido geotérmico fluye a lo largo de las fallas ONOó ESE hacia el noroeste. El fluido caliente en dirección OEO, manteniendo una alta temperatura, tiene el potencial del objetivo de perforación.
- Existe una barrera hidráulica (una falla en dirección NO) que evita que el fluido fluya entre los pozos SMó 1 y SMó 4.

### 3.2.2 Modelado Conceptual y Resultados de la Interpretación

Se revisó el modelo conceptual existente sobre la base de los resultados del reanálisis y la integración de todos los datos disponibles. El análisis topográfico, los resultados de los pozos existentes, el estudio de la gravedad (ENDE, 1986) y el estudio MT (CGG, 2013) han revelado la distribución de las fallas. Las distribuciones de las fallas y el reservorio potencial que se deduce del análisis y el modelo conceptual revisado se muestran en la Figura 3 y la Figura 4, respectivamente. Las ubicaciones de las secciones de los modelos conceptuales se muestran en la Figura 3.

El reó examen de la estructura geotérmica basada en los resultados del análisis de los mapas de resistividad tridimensionales ha revelado las distribuciones detalladas del sistema de fallas que

posiblemente controlan el flujo y la distribución del fluido geotérmico y la profundidad de las rocas de cubierta y el reservorio potencial.

El modelo conceptual de la estructura geotérmica preparado en este reporte no difiere significativamente al presentado en el modelo de JETRO en el año 2008. Por lo tanto, puede decirse que el diseño conceptual existente de los pozos nuevos ha sido evaluado de una manera razonable.

El resultado del reanálisis e integración de toda la información disponible y los mapas de resistividad 3D están descritos como sigue.

## (1) Estructura del Reservorio

### (a) Sistema de fallas

- La mayoría de las fallas son en la dirección ONOÓESE, y algunas son desplazadas por las fallas en la dirección NEÓSO. Estas fallas parecen controlar el flujo y la distribución del fluido geotérmico en el sitio del Proyecto.
- La información geomórfica, los mapas de resistividad 3D y la información de la perforación de los pozos indican mayormente que las fallas ONOÓESE deben ser fallas de tipo normal. La falla ONOÓESE del objetivo de perforación, distribuido al lado Oeste de los pozos existentes (SMó1, SMó2 y SMó5) parece que se inclina hacia el Suroeste.
- El buzamiento de las fallas de tipo normal fueron inferidas en los reportes previos. Sin embargo, no hay evidencias en los reportes, tales como datos de observación geológica de fallas en afloramientos ni en los pozos existentes.
- De acuerdo con los datos de registro de pozos, la temperatura del reservorio puede ser entre 240 °C y 250 °C, a excepción del pozo SMó 4, cuya temperatura llega a descender a los 220 °C. Una falla ONOÓ ESE ubicada entre el pozo SMó 1 y el pozo SMó 4 parece ser una barrera hidráulica.

### (b) Roca de Capa Sello

- La zona arcillosa y la parte superior de la zona silicea, las cuales son las secciones de baja permeabilidad en los pozos existentes, probablemente forman una capa de roca que sirve como sello sobre el reservorio geotérmico. La distribución de la roca de capa sello corresponde a la zona de menos de 10  $\Omega$  m.
- La distribución de la zona de baja resistividad y los resultados de los pozos existentes ha revelado que desde la superficie hasta una profundidad de 800 m puede ser reconocido una roca de capa sello superior debido a la baja permeabilidad de esta parte. La profundidad bajo los 900 a 1,000 m puede reconocerse como un reservorio geotérmico de alta permeabilidad.

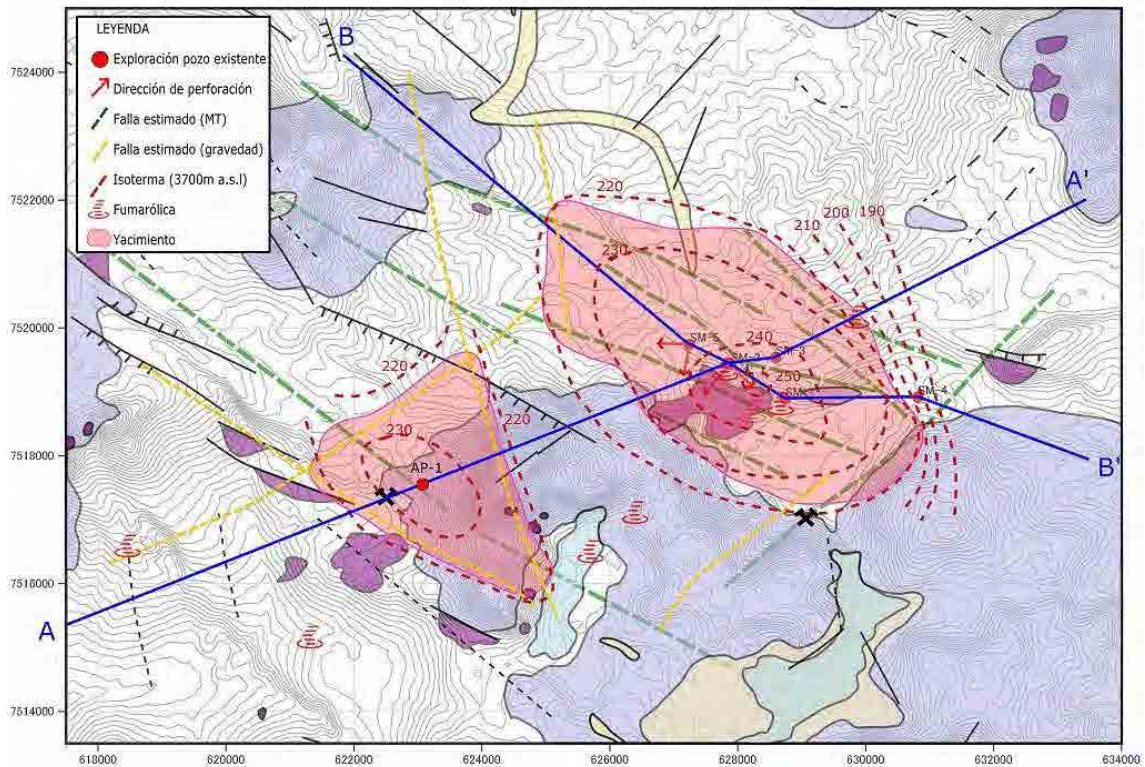
## (2) Fuente de calor

- La fuente de calor está bien interpretada basados en las actividades volcánicas cuaternarias. La roca volcánica más joven es la andesita (0.35 a 50 Ma) distribuidos alrededor del cerro Apacheta. Los volcanes activos alrededor del área de estudio son Cerro Deslinde, Cerro Volcán, Cerros del Tatio y Volcan el Tatio en los Andes occidentales.

## (3) Fluido Geotérmico

- La mayoría del fluido geotérmico puede ser originado de agua meteorológica, la cual posiblemente penetra hasta la profundidad donde se encuentran las rocas sedimentarias, por debajo de los 1,700 m de profundidad en donde se calienta. Finalmente el fluido

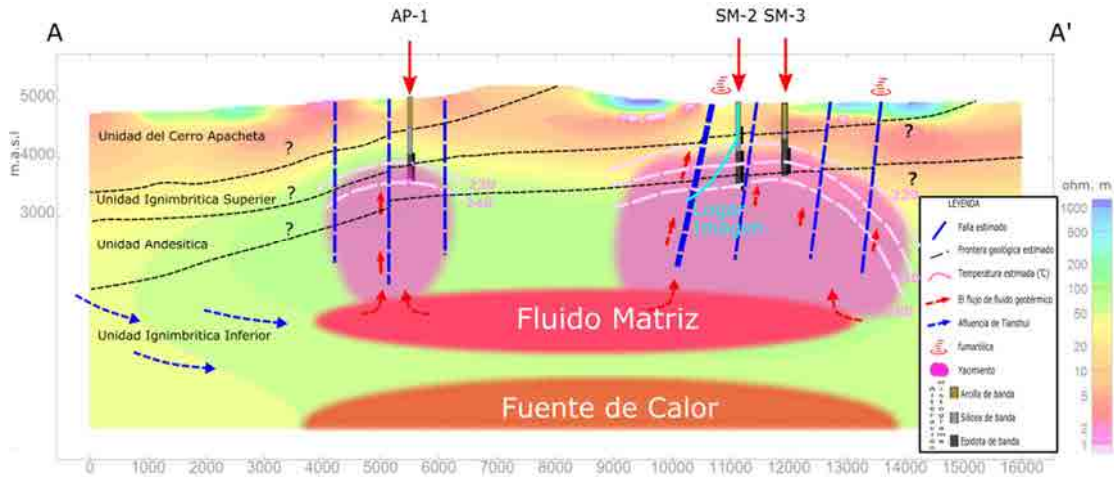
caliente asciende, principalmente, en los alrededores de los pozos SM61 (Sol de Mañana) y AP61 (Cerro Apacheta).



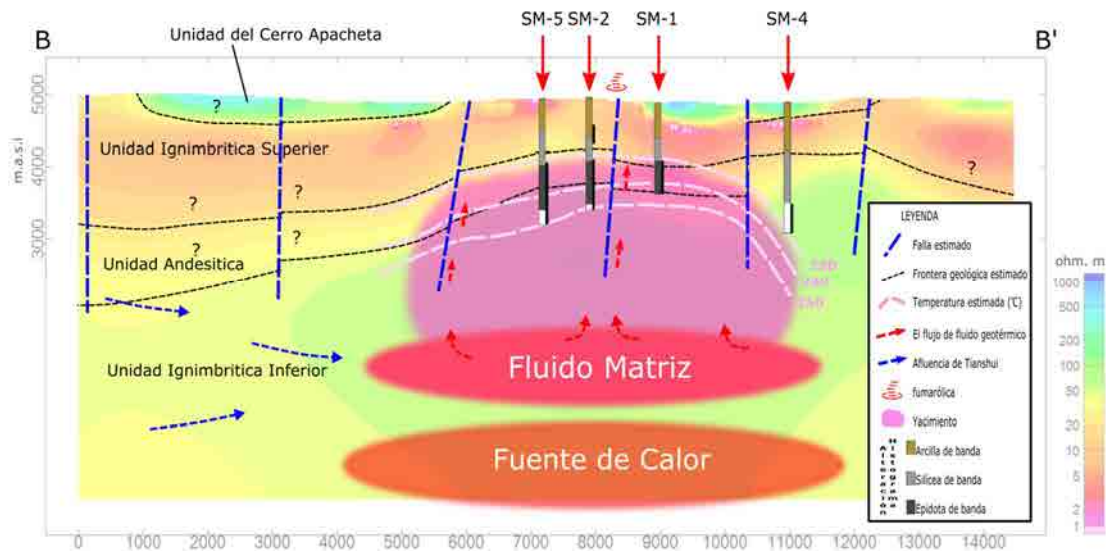
Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos Originales del Estudio MT: CGG (2013)

**Figura 3 Modelo Conceptual Revisado del Reservorio Geotérmico de Laguna Colorada (Vista en Planta)**

1) Perfil A – A'



2) Perfil B – B'



Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos Originales del Estudio MT: CGG (2013)

**Figura 4 Modelo Conceptual Revisado del Reservorio Geotérmico de Laguna Colorada (Secciones Transversales)**

3.2.3 Consideraciones Técnicas para Perforación de Pozos

(1) Plataformas y Equipos de Perforación

Se recomienda contar con plataformas de perforación de 1500 HP para los pozos nuevos del Proyecto de la Planta Geotérmica Laguna Colorada, por las siguientes razones:

- En condiciones generales (área normal, buenas condiciones de roca), la profundidad de perforación de una torre de perforación de 1000 HP y una torre de perforación de 1500 HP es de aproximadamente 3,000 m y 4,000 m, respectivamente. Sin embargo, debe considerarse que el sitio del Proyecto está ubicado en tierras altas, a una altitud de hasta 5,000 m, la eficiencia de los motores se reducirá en un 30% ó 40%, debido al bajo nivel de oxígeno.
- Se ha planificado que los pozos productores nuevos alcancen los 2,000 m o más, no de perforación vertical sino en direccional. Para ello, se requiere de una mayor capacidad de motores para cumplir con los requerimientos de perforación de estos nuevos pozos.

Ya que la eficiencia del generador y las bombas se reducirá en un 30% ó 40%, debe asegurarse que los equipos tengan la capacidad de suplir esta caída en la eficiencia. Todos los equipos deben estar adecuados para climas extremos, tales como temperaturas muy bajas, vientos fuertes, etc., y se requiere que todas las máquinas trabajen sin complicaciones, incluso en condiciones tales donde las temperaturas sean las más bajas (junio ó septiembre) en el sitio del Proyecto. Es importante establecer un sistema para evitar accidentes en los sistemas de bombeo y las tuberías, debido al agua congelada. De manera especial, el agua dulce para la perforación que proveniente de pozos de poca profundidad se congelará en las tuberías sin el uso de aparatos o implementos especiales, tales como válvulas de drenaje, alambre calentado eléctricamente a lo largo de las tuberías, etc.

(2) Organización en el Sitio del Proyecto

La seguridad en el lugar de trabajo es extremadamente importante. Por lo que, la exposición a altos riesgos será más evidente en aquellos sitios del Proyecto en donde los trabajadores se vean expuestos a el clima extremo, en donde la temperatura algunas veces desciende hasta por debajo de los 620 °C.

Según la entrevista al personal de ENDE en el sitio, las perforaciones de los pozos SMó 1 a SMó 5 se llevaron a cabo según un cronograma de trabajo de 2 turnos y tres cuadrillas. Una cuadrilla de 3 a 4 miembros del cliente trabajó en ciclos de diez (10) días. Bajo el control de varios miembros del personal administrativo/ coordinador, once (11) miembros de una cuadrilla del contratista trabajó en ciclos de quince (15) días en el sitio del Proyecto.

### (3) Cronograma de Perforación

Se estimó un cronograma de perforación para nuevos pozos, sobre la base de los registros de perforación de los cinco pozos existentes en el sitio del Proyecto y los resultados de las encuestas por medio de entrevistas. Se estima los períodos de perforación promedio de un pozo de producción y un pozo de reinyección en 92 días y 71 días, respectivamente.

Los períodos de perforación de los nuevos pozos del Proyecto de Construcción de la Planta de Geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Primera Etapa) se estimaron sobre las siguientes condiciones:

- De junio a octubre que es la estación de invierno en el sitio del Proyecto, no se llevaría a cabo ninguna obra de perforación para los pozos existentes, posiblemente por causa de problemas con la maquinaria y el congelamiento del agua de abasto bajo las severas condiciones de bajas temperaturas. Se necesitará un período sin perforación de al menos dos meses, es decir, julio y agosto que son la estación más fría, para los nuevos pozos y
- Se estimó un período de transporte de un equipo de perforación entre diferentes plataformas de unos 20 días.
- El avance en la perforación de los nuevos pozos será casi igual al de los pozos ya existentes. Por lo tanto, el período de perforación de un pozo de producción y un pozo de reinyección se estiman en 91 días y 71 días, respectivamente.

Según este cálculo, el período de perforación necesario para todos los pozos nuevos es 30 meses, mientras que el cronograma de perforación original establecía que éste será de 24 meses.

El período de perforación mencionado antes se calculó en base a los registros de perforación de hace más de 30 años. Actualmente la tecnología de perforación ha mejorado mucho por lo que si se usa un equipo de perforación con la potencia suficiente, se espera que el período de perforación sea menor a 30 meses. La determinación de los objetivos de perforación para los nuevos pozos y las especificaciones técnicas de los pozos nuevos son necesarios para establecer un cronograma de perforación detallado.

### (4) Pozos de Poca Profundidad para el Suministro de Agua Fresca de Abasto durante la Perforación de los Pozos Profundos

El agua de abasto disponible proveniente de los pozos de poca profundidad es insuficiente para las perforaciones de pozos. Se necesita pozos de poca profundidad adicionales para perforaciones de pozos sin complicaciones.

Para mantener las operaciones de perforación de un pozo de forma continua sin paros por falta de agua de abasto, se requiere un caudal de 40 L/seg de agua, aproximadamente. Si dos plataformas de perforación trabajan en paralelo, el consumo de agua se incrementará.



## **4. Estudio Sobre los Tipos de Contratos para las Obras de Perforación del Proyecto de Energía Geotérmica**

### **4.1 Método de Pago**

#### **4.1.1 Contrato a Precio Unitario y Contrato a Precios de Suma Global**

Por lo general, el método de pago para el contrato de construcción se clasifica en (1) un contrato a precio unitario (contrato de reó medición), (2) contrato a precios de suma global y (3) contrato a costoó másó honorarios (contrato de reembolso de costos). Ya que el método de òntrato a costoó másó honorariosö no se aplica para los proyectos financiados por la asistencia oficial al desarrollo del Japón, éste ha sido eliminado del presente estudio.

El contrato a precio unitario para las obras de perforación de los proyectos de energía geotérmica pueden clasificarse en un òntrato a tasa diaria/ horariaö y un òntrato por metro perforadoö. El oferente que tiene la intención de incluir contingencias para cubrir costos adicionales que resulten de eventos imprevisibles, establecerá el precio de oferta dentro del contrato a suma global a un precio mayor que el que establecería el contrato a precio unitario.

#### **4.1.2 Método de Pago en Contratos Modelo IADC**

La Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (de aquí en adelante, òIADCö) ha publicado contratos modelo, entre los que se incluye el òntrato de renta diariaö, el òntrato por metro perforadoö y el òntrato llave en mano (a precio de suma global)ö. El contrato modelo de la IADC ha sido utilizado en una serie de proyectos de perforación de pozos geotérmicos.

Existen tres (3) tipos de tasas unitarias en el òntrato de Renta Diariaö, a saber, la Tasa Operativa por el tiempo real de perforación, la Tasa de Reserva por el tiempo de espera y la Tasa durante la Reparación por el tiempo de reparación. Estas tasas unitarias se aplicarán dependiendo de las situaciones de trabajo.

Más aún, el contrato modelo de la IADC hace posible el uso parcial del pago de renta diaria, incluso en el òntrato por Metro Perforadoö y el òntrato a Precio de Suma Globalö utilizando la Tasa Operativa.

#### **4.1.3 Estudio de Casos sobre Contratos utilizados en Proyectos de Energía Geotérmica en otros Países**

Se realizó investigaciones a varios proyectos de energía geotérmica en varios países que cuentan con experiencia en la explotación geotérmica en años recientes, a fin de examinar el método de pago que se utiliza realmente. Se confirmó que en 6 de un total de 7 proyectos se utilizó el Contrato de Renta Diaria. Se encontró que el Contrato por Metro Perforado es utilizado ampliamente en Islandia. En la investigación no se logró identificar un sólo proyecto que haya utilizado el Contrato de Precio a Suma Global.

#### **4.1.4 Estudio de Caso de Contrato de Perforación de Pozo Geotérmico en Japón**

En los proyectos en Japón básicamente se utiliza el contrato de precio a suma global; sin embargo, el precio del contrato puede ajustarse mediante la aplicación de la tasa diaria. Por lo tanto, este tipo de contrato se considera similar al del pago de renta diaria. Más aún, las partes discutirán y acordarán el pago adicional y/ o la ampliación del tiempo para la finalización del pozo, según se considere apropiado.

#### **4.1.5 Resultado de las Entrevistas con Contratistas de Perforación**

Como resultado de las entrevistas realizadas a doce (12) contratistas de perforación de pozos en Santa Cruz de La Sierra en Bolivia, se tiene que todos los contratistas han mostrado gran interés en la participación en este proyecto. Con relación al método de pago, se confirmó que el contrato de su preferencia es el contrato a precio unitario y estaban muy renuentes a aceptar el contrato a tasa por metro perforado o el contrato a precio de suma global, ante el riesgo del contratista a quedar expuesto a eventos imprevisibles. En especial, mostraron opiniones muy negativas en cuanto al contrato a precio de suma global.

#### **4.1.6 Método de Pago Aplicable al Proyecto**

Se sugiere que se descarte el precio a suma global para su uso en el Proyecto, por las siguientes razones:

- (1) La posibilidad de un fracaso en la oferta se hace mayor debido al gran riesgo geológico asignado al contratista
- (2) No se confirmó la aplicación del contrato de precio a suma global en el estudio
- (3) Sobre la base de las entrevistas, los contratistas se muestran muy negativos a adoptar un contrato de precio a suma global en Bolivia. Incluso mencionan que no es común usarlo para la perforación en los campos petroleros

Los contratistas de perforación entrevistados en Santa Cruz se muestran negativos a aceptar el contrato por metro perforado.

Sobre la base de lo arriba indicado, parece práctico aplicar el pago de renta diaria para el Proyecto, el cual es el método más comúnmente usado en la industria de la perforación de pozos geotérmicos.

### **4.2 Condiciones del Contrato**

#### **4.2.1 Generalidades**

Las Condiciones del Contrato es un documento fundamental en el contrato porque define los derechos y las obligaciones contractuales de las partes del Contrato y por lo tanto, determina la asignación de riesgos entre las partes.

Las condiciones del contrato que se mencionan a continuación son las candidatas para el contrato de perforación del Proyecto, en el caso que se aplique el contrato a precio unitario:

- 1) El Libro Rosa del FIDIC (Las Condiciones del Contrato para la Construcción del FIDIC, Versión Armonizada de los Bancos Multilaterales de Desarrollo ó BMD)
- 2) El Contrato a Tasa Diaria del IADC (El Contrato Internacional de Perforación en Tierra por Día de Trabajo de IADC).

#### **4.2.2 Características Generales del Libro Rosa del FIDIC**

Las directrices para las adquisiciones dentro de los préstamos AOD de Japón exigen que el Prestatario utilice los Documentos de Licitación Estándar de JICA; los Documentos de Licitación Estándar (Obras) adoptan el Libro Rosa del FIDIC como sus condiciones de contrato.

Las características generales del Libro Rosa del FIDIC son las siguientes:

- 1) Aplicable a proyectos diseñados por el empleador.
- 2) El pago se realiza de manera mensual, a precio unitario y reó medición (método BOQ ó Lista de Cantidades).
- 3) Se mantiene una asignación de riesgo equilibrado entre el empleador y el contratista.
- 4) El empleador asume aquellos riesgos que no pueden ser manejados por cualquiera de las partes y que no pueden ser asegurados bajo términos comercialmente razonables.
- 5) Se nombra al Ingeniero para que desempeñe los siguientes roles.
  - (1) Como agente del Empleador
  - (2) Como Administrador Independiente del Contrato
- 6) El proceso de resolución de reclamos y disputas o controversias se especifica en detalle.

#### **4.2.3 Características Generales de los Contratos IADC**

Tal y como se describe en el Capítulo 4.1.2, la IADC publica tres (3) tipos de contrato modelo, dependiendo de los diferentes métodos de pago. (Contrato a tasa diaria, contrato a tasa de metraje, contrato a precio de suma alzada).

En el Contrato a tasa diaria de IADC, el contratista brindará los recursos requeridos para el trabajo y llevará a cabo las operaciones de perforación bajo la dirección y la supervisión del Empleador (al que se le denomina el òOperadorö en los contratos IADC), por lo tanto, se interpreta que el empleador asume la responsabilidad final de la construcción.

Entre tanto, se considera que el contratista asumirá la responsabilidad de la ejecución del trabajo bajo el contrato a tasa de metraje y el contrato de precio a suma alzada.

El contrato IADC a tasa diaria cuenta con un concepto para lidiar con dicha situación imprevisible aplicando diferentes tasas unitarias de perforación, como por ejemplo la Tasa de Reserva. En otras palabras, se reconoce que el contrato modelo de la IADC cuenta con un mecanismo que permite el cambio flexible del método de construcción, el cual se basa en una instrucción dada por el empleador en el sitio, y varía el precio del contrato y el período de construcción en tiempo real.

#### **4.2.4 Comparación entre el Libro Rosa del FIDIC y el Contrato IADC**

Se realizó las comparaciones de las cláusulas del Contrato entre el Libro Rosa del FIDIC y el contrato a tasa diaria de la IADC.

La asignación del riesgo al empleador en el contrato modelo de la IADC es mucho mayor que en el Libro Rosa del FIDIC. Asimismo, el contrato modelo de la IADC carece del nivel de detalle que se da en las estipulaciones de contrato, comparado con el Libro Rosa del FIDIC.

#### **4.2.5 Condiciones de Contrato utilizadas para el Proyecto financiado por Bancos Multilaterales de Desarrollo (BMD)**

Se realizó un análisis a las condiciones del contrato utilizadas para un proyecto de energía geotérmica financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Las condiciones del contrato para este proyecto no son ni del Libro Rojo ni del Libro Rosa del FIDIC; sin embargo, muchas de las estipulaciones importantes, tales como el procedimiento de pago,

el manejo del avance de obras, los daños por demoras, los seguros, las pruebas a la culminación, el proceso de aceptación y toma de control, etc. son muy similares a las que se encuentran en el Libro Rosa del FIDIC.

#### **4.2.6 Condiciones del Contrato Aplicables al Proyecto**

Las Condiciones del Contrato sugeridas para su aplicación en las obras de perforación del Proyecto serían las del Libro Rosa del FIDIC, por las siguientes razones:

- (1) Se utiliza el Libro Rosa del FIDIC como las condiciones de contrato para los Documentos de Licitación Estándar de JICA (Obras).
- (2) Los riesgos contractuales asignados al Empleador son considerablemente grandes dentro de los contratos modelo de la IADC.
- (3) Parece que en la mayoría de los casos se realizan extensas modificaciones a dichos contratos.
- (4) Existe un caso en que se utilizó condiciones del contrato similares al Libro Rosa del FIDIC para un proyecto de energía geotérmica financiado por los Bancos Multilaterales de Desarrollo (BMD).

Con relación al método de pago, se considera que el uso del contrato a tasa diaria sea práctico para el Proyecto. Sin embargo, sería razonable introducir aquel concepto en el que la asignación de riesgos entre las partes del contrato estará bastante equilibrada, más que la práctica dentro de los Contratos IADC en los que el empleador siempre le da instrucciones al contratista durante el trabajo de perforación y finalmente asume las consecuencias de las obras.

#### **4.3 Paquete del Contrato**

El paquete del contrato recomendado para las obras de perforación de pozos del Proyecto se muestra en el Cuadro 4.8, considerando los siguientes factores:

- 1) Se prefiere números más pequeños de paquete de contrato, a fin de reducir el problema de interrelación entre los contratos y también reducir la sobrecarga administrativa de la unidad ejecutora.
- 2) Aquellos trabajos preparatorios, tales como la construcción de la plataforma de perforación, la construcción de la ruta de acceso y el sistema de suministro de agua se llevarán a cabo antes de la movilización del contratista de perforación, de tal modo que se acorte el período total del proyecto.
- 3) Los materiales de perforación se comprarán por separado de las obras de perforación, a fin de minimizar los gastos generales fijos que se generan en una larga cadena de suministros. Al hacer esto, el empleador tendrá mayor control sobre la calidad de los materiales suministrados.
- 4) Con relación al contrato de suministro de materiales, se hará una oferta una sola vez; sin embargo, el postor puede ofrecer todos o cualquiera de los artículos dentro del alcance total del suministro.
- 5) Las obras de perforación, incluyendo una variedad de obras y servicios relacionados, se llevarán a cabo dentro de un contrato de un solo paquete. A modo de alternativa, en el contrato de las obras de perforación también se puede aplicar el método de una sola oferta y múltiples contratos que se menciona en el punto 4 más arriba.

#### **4.4 Rectificación del Contrato y Conformidad de JICA**

El contrato de préstamo entre JICA y el prestatario, exige que el prestatario obtenga la previa conformidad de JICA para las modificaciones de importancia al contrato y los cambios en el precio del contrato.

Sin embargo, el precio del contrato en un contrato a precio unitario con frecuencia es fluctuante, debido a las siguientes razones:

- 1) Desvío de la cantidad estimada dada a la Lista de Cantidades.
- 2) Cantidad de trabajo adicional o reducida debido a la variación
- 3) Ajuste del precio del contrato, según la escalada de precios
- 4) Costos adicionales que surgen de los reclamos del Contratista.

Incluso dentro del contrato de precios a suma alzada, el cambio en el precio del contrato es inevitable si se dan los puntos 2), 3) y/o 4) arriba indicados.

En el sentido estricto de la palabra, el precio del contrato fluctúa cada mes luego de la evaluación de cada pago parcial o a cuenta; sin embargo, se considera de manera razonable que dicha re-evaluación por parte de JICA no es práctica. En realidad, la conformidad de JICA sólo se obtiene después que se esté completamente seguro que el monto total excederá el precio del contrato.

## **5. Reuniones con ENDE y Seminarios**

El equipo de estudio visitó Bolivia entre el 14 y el 30 de mayo del 2015, durante ese tiempo se reunió con ENDE y llevó a cabo dos seminarios para que ENDE desarrollara un mejor entendimiento de las Condiciones de Contratación para la Perforación de Pozos y Aspectos Técnicos del Yacimiento Geotérmico Laguna Colorada.

### **5.1 Primer Seminario**

El propósito principal del Primer Seminario fue desarrollar una comprensión detallada del proceso de adquisición. El contenido del seminario incluye presentaciones las condiciones estándar del préstamo AOD de JICA, ya que ENDE no está familiarizado con su proceso de adquisiciones.

El Primer Seminario se llevó a cabo con 11 miembros del personal de ENDE, en la sala de reuniones de ENDE ANDINA, el 18 de mayo, de 9.00 am a 1.00 pm.

### **5.2 Segundo Seminario**

El Segundo Seminario se llevó a cabo para explicar los resultados del estudio, recomendó el contrato de perforación adecuado para el Proyecto y estuvo en conversaciones con ENDE

El Segundo Seminario se llevó a cabo con 13 miembros del personal de ENDE, en la sala de reuniones de ENDE ANDINA, el día 26 de mayo, de 9:00 am a 1:00 pm.

## **6. Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1 Objetivos de Perforación**

- (1) Evaluación de los Objetivos de Perforación

Para la evaluación de los objetivos de perforación, se revisó el modelo geotérmico sobre la base de los resultados de la revisión de los datos geológicos, los datos geoquímicos, los resultados del estudio geofísico, las pruebas a los pozos y los pozos de producción

- El presente estudio interpretó los mapas de resistividad tridimensionales (CGG, 2013) a través de la integración, reveló las distribuciones de las fallas que controlan el flujo y la distribución del fluido geotérmico y la profundidad de las rocas de cubierta y el reservorio potencial.
- El modelo conceptual revisado no es diferente al modelo existente preparado en JETRO (2008), en el concepto básico de la estructura geotérmica y fuente de calor geotérmico. Se ha evaluado el concepto del diseño existente de pozos nuevos (el área del objetivo de perforación) y en consecuencia se ha encontrado que es razonable.
- Sin embargo, todavía no se ha determinado los diseños detallados de los objetivos de perforación, los programas de tubería de revestimiento y la ubicación de la cabeza de pozo. Se necesita establecer los objetivos de perforación y el plan de trabajo detallados para los nuevos pozos (4 pozos de producción y 3 pozos de reinyección) del Proyecto de Construcción de la Planta de Geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Primera Etapa).

## (2) Consideraciones para el Expediente Técnico de los Objetivos de Perforación

Las consideraciones para el Expediente Técnico de los objetivos de perforación se describen a continuación:

- No es posible determinar con precisión la profundidad de las fracturas productivas, debido a que el intervalo de profundidad de la perforación ciega (perforación con el total de circulación perdida) parece ser largo en los informes de perforación.
- La falla geológica que es el objetivo de la perforación podría inclinarse de forma suave hacia el Oeste. En este caso, los pozos recién perforados van a buscar el plano de la falla desde los pozos que se tienen planificados.
- Son muy pocos los datos disponibles para los pozos de reinyección.

## (3) Análisis/ Interpretación Recomendada para Determinar los Objetivos de Perforación

Se recomienda llevar a cabo los siguientes estudios para obtener los datos necesarios para determinar el objetivo de la perforación.

- Interpretación de los datos originales presión, temperatura y spinner (PTS)
- Análisis alternativo de trasladar el pozo hacia el Oeste desde la posición original
- Interpretación del pozo existente SMó 4 y reó evaluación de los datos de resistividad eléctrica para el plan de perforación de los pozos de reinyección.

## (4) Diseño Detallado de los Objetivos de Perforación

Considerando la interpretación/ análisis recomendados arriba, para preparar las especificaciones técnicas de los pozos nuevos (cuatro pozos de producción y tres pozos de reinyección) en el Proyecto de Construcción de la Planta Geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Primera Etapa) se necesita cumplir con los siguientes requisitos. Los cuales, para completar el diseño detallado de los objetivos de perforación, se requiere cerca de 3 meses.

- Ubicación de pozos, determinación del objetivo de perforación
- Programa de tubería de revestimiento

- Dibujos para las especificaciones técnicas
- Cronograma de trabajo
- Lista de materiales de perforación

## 6.2 Reforzamiento de la Estructura Organizacional para el Manejo de la Construcción

Se requiere la planificación de la estructura organizacional para el manejo de la construcción, considerando los siguientes puntos:

- 1) ENDE no cuenta con suficiente experiencia ni tecnologías en trabajos de perforación de pozos.
- 2) Bajo el método de pago a tasa diaria, es muy importante la estrecha supervisión a la construcción de parte de ENDE, a fin de proveer instrucciones y órdenes de variación apropiadas al Contratista y evitar pagos adicionales causados por el lento avance del trabajo debido a faltas de parte del Contratista.
- 3) Bajo el Libro Rosa del FIDIC, el cual se utiliza en los Documentos de Licitación Estándar de JICA (Obras) se requiere el nombramiento del Ingeniero, quien será responsable de la administración del contrato de obras.
- 4) El alcance del trabajo del Consultor, del cual ENDE está en el proceso de contratación, no requiere que el Consultor actúe como el Ingeniero bajo contrato de FIDIC, quien le dará instrucciones directas al Contratista y emitirá diversos certificados a las partes del contrato.

Según lo arriba examinado, es necesario emplear al Ingeniero para el refuerzo de las capacidades del manejo de la construcción y también cumplir con el marco organizacional dentro del Libro Rosa del FIDIC.

A modo de alternativa, es posible incluir funciones y roles del Ingeniero en la tarea del Consultor, con un equipo consultor de refuerzo. Incluso a veces, se requerirá la utilización de expertos técnicos que apoyen a ENDE, porque ocasionalmente ENDE tendrá que tomar sus propias decisiones técnicas.

## 6.3 Consideraciones para los Paquetes de Contratos

Los paquetes de contratos recomendados para los trabajos de perforación se componen de: trabajos preparatorios, suministro de materiales, servicios de perforación y servicios complementarios de perforación.

### (1) Trabajos Preparatorios

Los trabajos preparatorios incluyen, tanto los trabajos de construcción como los de mantenimiento de plataformas de perforación, caminos de acceso y sistema de suministro de agua para la perforación. Se recomienda que la entidad ejecutora realice las actividades mencionadas a continuación, como parte de los trabajos preparatorios a fin de minimizar el cronograma de los trabajos de perforación, aunque estos trabajos también podrían ser realizados por el contratista de perforación. Los detalles relacionados con las especificaciones y el área de los trabajos preparatorios, deben determinarse en base a estudios topográficos en la etapa de diseño de detalle.

- Tener listas las plataformas de perforación antes de iniciar los servicios de perforación. Las plataformas requieren un área aproximada de 5,000 m<sup>2</sup>. Se tiene planeado construir dos plataformas nuevas para pozos de producción, cercanas a las plataformas existentes de los pozos SM62 y SM65 y una plataforma para pozo de reinyección localizada a unos 2 km al

Sureste de la plataforma del pozo SM62, aproximadamente. Las ubicaciones de estas plataformas dependen de la revisión de los resultados de las nuevas perforaciones y pruebas de los pozos. Es recomendable que los trabajos preparatorios de las plataformas sean realizados individualmente, previo a los trabajos de perforación en cada sitio. Y deben estar concluidas antes del comienzo de los servicios de perforación de cada pozo.

- Mantener en buenas condiciones los caminos de acceso. Para el transporte de los equipos de perforación se necesita que los caminos de acceso tengan, al menos, 4 metros de ancho. Se requiere que los caminos tengan cerca de 10 cm de grava para mejorar algunas secciones que se encuentren dañadas. De acuerdo a lo que se pudo observar durante el reconocimiento del sitio en este estudio, la mayoría del camino de acceso entre la ciudad de Uyuni y el sitio del proyecto, está en buenas condiciones. Aunque no se debe olvidar que en este camino se encuentran varios puntos de cruce de ríos, los cuales requerirán atención. Particularmente, la implementación de trabajos son necesarios en un tramo de aproximadamente 18 km a lo largo del camino de acceso, con mayor precisión entre los puntos: S 21° 51' 15.8", O 67° 30' 45.8" y S 21° 59' 25.7", O 67° 34' 1.7". La entidad ejecutora será el responsable de la reparación de los caminos de acceso, en caso que estos sean obstruidos por cualquier circunstancia que ocurra, tales como: inundaciones, deslizamientos de tierra o de nieve, etc. durante la ejecución del proyecto.
- Además, se necesita que el suministro de agua sea suficiente para cubrir las necesidades de los trabajos de perforación de los pozos geotérmicos. Se estima que el total de agua requerida es de aproximadamente 40 L/s como máximo, para mantener las operaciones de perforación de un pozo profundo de forma continua, sin tener paros por falta de agua, lo cual podría ocasionar retrasos en el cronograma. En el caso que se tengan dos equipos de perforación trabajando en paralelo para acelerar el proyecto, el consumo de agua podría duplicarse hasta alcanzar un total de aproximadamente 80 L/s como máximo. Con el avance del proyecto, lo más probable es que el suministro de agua desde los pozos someros tienda a disminuir. Por lo tanto, la entidad ejecutora deberá calcular adecuadamente la cantidad de pozos necesarios para asegurar que el agua no falte, a fin de evitar que ocurran retrasos en las operaciones de perforación, tomando en cuenta que, si es necesario, deberán perforarse pozos someros adicionales para mantener el suministro adecuado.

## (2) Suministro de Materiales y Trabajos de Perforación con los Servicios Complementarios

En el Cuadro 2 se muestra una comparación entre, llevar adelante un proceso de contratación considerando un solo paquete de contratos (incluyendo materiales, servicios de perforación y servicios complementarios de perforación) y realizar un proceso de dos paquetes de contratos (separando la compra de materiales de perforación de los servicios de perforación y complementarios).

**Cuadro 2 Comparación de Paquetes de Contratos**

Ítems	2 Paquetes	1 Paquete
1. Control de Calidad		
Control de Calidad, realizado por la entidad ejecutora* <sup>1</sup>	✓	
2. Control de Cronograma de Perforación		
Evita retrasos en los períodos de perforación si se tienen los suministros con anterioridad a los trabajos de perforación	✓	
Evita retrasos de los trámites de la entidad ejecutora en el cronograma de perforación causados por falta de materiales de perforación		✓
Flexibilidad en cambiar las cantidades debido al diseño	✓	



Ítems	2 Paquetes	1 Paquete
de nuevos pozos		
3. Control de Costos		
Minimiza los sobrecostos	✓	
Busca la combinación más económica de proveedores, que permita comprar los materiales de perforación mediante múltiples contratos	✓	
4. Reducción de Gastos Administrativos		
Reducción de trabajos administrativos		✓
Riesgo de problemas causados por la falta o por el exceso de materiales de perforación		✓

Nota: ✓: Adecuado

\*<sup>1</sup>: En un solo Paquete de Contratos, es difícil tener el control total de la calidad en los materiales adquiridos por el Contratista de Perforación, incluso cuando se ha entregado las especificaciones de los materiales, debido a que los contratistas de perforación, probablemente, tengan la intención de reducir costos lo cual podrá causar degradación de los materiales.

Los paquetes de contratos deben ser determinados sobre la base de comparación de los efectos que se tendrían al decidir cómo preparar los paquetes. Como se muestra en el Cuadro 601, la propuesta de dos paquetes de contratos sería la más conveniente para la entidad ejecutora para poder tener control en la calidad, cronograma y costos. En el control del cronograma, el contrato de un solo paquete de contrato podría evitar los riesgos de retrasos causados por los trámites de la entidad ejecutora, sin embargo, los trabajos de perforación están siempre sujetos a la revisión de los resultados del análisis de los datos que se obtengan de los nuevos pozos perforados, las revisiones de los suministros de materiales de perforación causados por el cliente (en este caso la entidad ejecutora) durante los trabajos de perforación podrían convertirse en reclamos por parte del contratista de perforación. Esto podría causar grandes impactos en el desarrollo del cronograma de perforación, posiblemente paros que afecten directamente el cronograma.

En un proceso de contratación de dos paquetes de contratos, la entidad ejecutora tiene la responsabilidad de suministrar todos los materiales de perforación, por lo que las especificaciones técnicas deberán ser cuidadosamente preparadas y se deberá realizar inspección cuidadosamente después de la entrega, para evitar problemas durante la ejecución de los trabajos de perforación.

Fin del documento

**ASISTENCIA ESPECIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL  
PROYECTO (SAPI)**  
**PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA  
GEOTÉRMICA LAGUNA COLORADA (FASE 1 DE LA PRIMERA  
ETAPA)**  
**INFORME FINAL**

Mapa de Ubicación

Abreviaturas

Resumen Ejecutivo

**Índice**

CAPÍTULO 1	Introducción .....	1
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Objetivos y Alcance .....	1
1.2.1	Objetivos .....	1
1.2.2	Áreas de Estudio.....	2
1.2.3	Alcances del Estudio.....	2
CAPÍTULO 2	Metodología del Estudio .....	3
2.1	Revisión de Informes.....	4
2.1.1	Recolección de Datos .....	4
2.1.2	Interpretación del Plan Actual de los Objetivos para los Nuevos Pozos .....	6
2.2	Estudio sobre el Tipo de Contrato para los Trabajos de Perforación .....	7
2.3	Estudio de la Tendencia del Mercado de los Trabajos de Perforación.....	7
2.4	Seminarios .....	8
2.5	Método de Pago Aplicable al Proyecto .....	8
CAPÍTULO 3	Resultados de la Revisión Técnica .....	9
3.1	Revisión de los Estudios Existentes .....	9
3.1.1	Estudio Geológico y Geoquímico.....	9

3.1.2	Estudio Geofísico .....	16
3.1.3	Datos de Perforación de los Pozos Existentes .....	27
3.1.4	Pruebas de Producción .....	34
3.2	Evaluación de los Objetivos de Perforación .....	43
3.2.1	Verificación del Modelo Conceptual Propuesto para el Sistema Geotérmico .....	43
3.2.2	Modelado Conceptual y Resultados de la Interpretación .....	49
3.2.3	Consideraciones Técnicas para la Perforación de Pozos .....	52
CAPÍTULO 4 Estudio sobre el Tipo de Contrato para las Obras de Perforación del Proyecto de Energía Geotérmica .....		58
4.1	Método de Pago .....	58
4.1.1	Contrato de Precio Unitario y Contrato a Precios de Suma Global .....	58
4.1.2	Método de Pago en Contratos modelo IADC .....	62
4.1.3	Estudio de Casos sobre Contratos utilizados en Proyectos de Energía Geotérmica en Otros Países .....	63
4.1.4	Estudio de Caso de Contrato de Perforación de Pozo Geotérmico en Japón .....	64
4.1.5	Resultado de las Encuestas por Entrevistas con Contratistas de Perforación .....	65
4.1.6	Método de Pago Aplicable al Proyecto .....	66
4.2	Condiciones del Contrato .....	66
4.2.1	Generalidades .....	66
4.2.2	Características Generales del Libro Rosa del FIDIC .....	67
4.2.3	Características Generales de los Contratos IADC .....	68
4.2.4	Comparación entre el Libro Rosa del FIDIC y el Contrato IADC .....	69
4.2.5	Condiciones de Contrato utilizadas para el Proyecto financiado por Bancos Multilaterales de Desarrollo (BMD) .....	73
4.2.6	Condiciones del Contrato Aplicables al Proyecto .....	76
4.3	Paquete del Contrato .....	77
4.4	Rectificación del Contrato y Conformidad de JICA .....	78
CAPÍTULO 5 Reunión con ENDE y Seminarios .....		80
5.1	Primer Seminario .....	80
5.2	Segundo Seminario .....	81

CAPITULO 6	Conclusiones y Recomendaciones.....	82
6.1	Objetivos de la Perforación.....	82
6.2	Reforzamiento de la Estructura Organizacional para el Manejo de la Construcción .....	85
6.3	Consideraciones para los Paquetes de Contratos .....	87
CAPÍTULO 7	Referencias .....	89

## Figuras y Cuadros

### Figuras

Figura 261	Flujograma de Trabajo.....	3
Figura 262	Cronograma del Estudio .....	4
Figura 263	Mapa de Ubicación de los Pozos Exploratorios y el Estudio MT.....	6
Figura 361	Columnas de Secciones Geológicas de los Pozos Geotérmicos .....	9
Figura 362	Mapa Geológico del Campo Geotérmico de Sol de Mañana.....	11
Figura 363	Sección Transversal de la Alteración.....	12
Figura 364	Clasificación por Iones Disueltos .....	13
Figura 365	Correlación de D ó <sup>18</sup> O.....	13
Figura 366	Mapa de Correlación de BóCl .....	14
Figura 367	Comparación de la Temperatura Geoquímica (aguas calientes).....	15
Figura 368	Comparación de la Temperatura Geoquímica (gas).....	15
Figura 369	Mapa de la Anomalía de Bouguer (densidad de corrección 2.2g/cm <sup>3</sup> ) .....	18
Figura 3610	Mapa del Primer Derivativo Vertical.....	18
Figura 3611	Mapa de Rresistividad 3D por Método MT (4,700 m.s.n.m.) .....	19
Figura 3612	Mapa de Resistividad 3D por Método MT (3,800 m.s.n.m.).....	20
Figura 3613	Mapa de Resistividad 3D por Método MT (2,900 m.s.n.m.).....	20
Figura 3614	Mapa de Resistividad 3D por Método MT (2,000 m.s.n.m.).....	21
Figura 3615	Diagrama de Superposición de Resistividad 3D por Medio del Método MT .....	22
Figura 3616	Sección Transversal Esteó Oeste de la Resistividad 3D por el Método MT (UTMó Y: 751,900 m).....	23

Figura 3617	Sección Transversal Norte ó Sur de Resistividad 3D por el Método MT .....	24
Figura 3618	Distribución 3D que Resulta del Análisis de Resistividad 3D con el Método MT .....	25
Figura 3619	Distribución de la Gravedad y Estructura Geológica Alrededor de la Planta de Energía Geotérmica de Ogiri .....	26
Figura 3620	Sección Transversal de la Resistividad por el Método MT Alrededor de la Planta de Energía Geotérmica de Ogiri.....	27
Figura 3621	Modelo Conceptual del Reservorio Geotérmico Laguna Colorada (Vista en Planta).....	44
Figura 3622	Modelo Conceptual del Reservorio Geotérmico Laguna Colorada (Sección Transversal).....	44
Figura 3623	Modelo Hidráulicoó Geoquímico del Reservorio Geotérmico Laguna Colorada.....	45
Figura 3624	Modelo Conceptual Revisado del Campo Geotérmico Laguna Colorada (Vista en Planta).....	51
Figura 3625	Modelo Conceptual Revisado del Campo Geotérmico Laguna Colorada (Sección Transversal).....	52
Figura 3626	Organigrama Durante la Perforación de Pozos SM 61 a SM 65.....	54
Figura 661	Plan de Perforación de los Nuevos Pozos .....	83
Figura 662	Imagen del Objetivo de Perforación y Falla Inferida.....	84
Figura 663	Estructura Organizacional durante la Etapa de la Construcción (Conceptual) .....	86
 <b>Cuadros</b>		
Cuadro 261	Estudio Previo .....	4
Cuadro 262	Resumen de los Datos de Estudios Existentes.....	5
Cuadro 263	Puntos de Revisión .....	5
Cuadro 264	Principales Rubros del Cuestionario.....	7
Cuadro 361	Estratigrafía del Sitio del Proyecto .....	10
Cuadro 362	Resumen de los Minerales de Alteración Hidrotermal .....	11
Cuadro 363	Resumen de la Clasificación en Base a los Iones Disueltos .....	12
Cuadro 364	Resumen de la Estimación de la Temperatura Geoquímica .....	14
Cuadro 365	Resumen de los Datos de Perforación de SM 61 .....	29

Cuadro 366	Resumen de los Datos de Perforación de SM ó 2.....	30
Cuadro 367	Resumen de los Datos de Perforación de SM ó 3.....	31
Cuadro 368	Resumen de los Datos de Perforación de SM ó 4.....	32
Cuadro 369	Resumen de los Datos de Perforación de SM ó 5.....	33
Cuadro 3610	Resumen de Todos los Datos de Perforación.....	34
Cuadro 3611	Resumen de la 1ra. Prueba de Producción .....	36
Cuadro 3612	Resumen de la 2da. Prueba de Producción .....	36
Cuadro 3613	Resumen de la 3ra. Prueba de Producción .....	37
Cuadro 3614	Resumen del Monitoreo de la Presión del Pozo Exploratorio Durante la 1ra. y la 2da. Prueba de Producción .....	37
Cuadro 3615	Resumen del Monitoreo de la Presión del Pozo Exploratorio Durante la 3ra. Prueba de Producción .....	37
Cuadro 3616	Resumen de Pruebas de Pozos Durante la 1ra. y 2da. Prueba de Producción .....	41
Cuadro 3617	Resumen de Pruebas de Pozos Durante la 3ra. Prueba de Producción .....	41
Cuadro 3618	Verificación del Modelo Conceptual para el Reservorio Geotérmico de Laguna Colorada.....	46
Cuadro 3619	Resumen de Registros de Perforación de los Pozos Existentes.....	55
Cuadro 3620	Período de Perforación Estimado para Pozos de Producción y Pozos de Reinyección.....	56
Cuadro 3621	Cronograma de Perforación Original y Cronograma de Perforación Calculado en este Estudio.....	57
Cuadro 3622	Disponibilidad de Pozos de Poca Profundidad Existentes .....	57
Cuadro 461	Características del Contrato a Precio Unitario y el Contrato a Suma Global .....	58
Cuadro 462	Problemas Encontrados Durante la Perforación de los Pozos y Medidas de Solución.....	60
Cuadro 463	Características de las Condiciones Estándar IADC de Contrato para las Obras de Construcción .....	62
Cuadro 464	Características de los Contratos de Perforación para Proyectos de Energía Geotérmica en el Extranjero .....	63
Cuadro 465	Resultado de las Entrevistas en Cuanto al Método de Pago y a la AIP.....	65
Cuadro 466	Comparación entre el Libro Rosado del FIDIC y el Contrato a Tasa de Renta Diaria de la IADC .....	69
Cuadro 467	Comparación entre las Condiciones del Contrato Financiado por el BID y el Libro	74

	Rosa del FIDIC .....	
Cuadro 468	Paquetes de Contrato .....	77
Cuadro 561	Itinerario del Estudio en el Sitio.....	80
Cuadro 661	Comparación de Paquetes de Contratos.....	88

## Anexos

Apéndice 61	Cuadro de Perforación
Apéndice 62	Resultado de las Pruebas de Producción
Apéndice 63	Material del Seminario

## CAPÍTULO 1 Introducción

### 1.1 Antecedentes

El desarrollo del Proyecto Geotérmico Laguna Colorada se inició a partir de la década de 1970, por medio de un fondo de Italia, y entre 1988 y 1992 se perforaron cinco pozos profundos. El estudio de perforación reveló el potencial del reservorio y confirmó la existencia del fluido geotérmico con temperatura superior a los 250 °C en tres de los pozos perforados. En 1997, la Comisión Federal de Electricidad, de México, revisó los estudios previos a solicitud de ENDE y estimó la cantidad máxima posible de generación de energía geotérmica entre 350 MW y 400 MW.

El Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón realizó el Estudio de Factibilidad para la Construcción de la Planta Geotermoeléctrica de Laguna Colorada, Potosí, Bolivia (JETRO 2008), incluyendo el diseño conceptual de una planta geotérmica de 100 MW y el estimado de costo del proyecto. Entre el 2008 y el 2009, JICA volvió a revisar y examinó los informes de estudio de factibilidad previos y estableció los conceptos de diseño básico para el plan de desarrollo de una planta de energía geotérmica compuesto de la Etapa 1 (50 MW) y la Etapa 2 (50 MW) en el ESTUDIO PREPARATORIO PARA EL DESARROLLO GEOTÉRMICO DE LAGUNA COLORADA (SOL DE MAÑANA), Informe Final (JICA 2010). En 2009, ENDE llevó a cabo el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental en el Sitio del Proyecto. Posteriormente, JICA llevó a cabo el Proyecto Preparatorio para el Proyecto de Construcción de la Central Geotérmica de Laguna Colorada, Informe Final (JICA 2013), incluyendo las pruebas a los pozos de producción y las pruebas al monitoreo ambiental entre el 2011 y el 2013. Luego de estos estudios realizados con el apoyo de JICA, en el año 2013, ENDE llevó a cabo la magnetotelúrica (MT), abarcando un área de 15 km x 8 km, y preparó un modelo de inversión tridimensional.

El año 2014, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) firmó un contrato de préstamo AOD de Japón con el Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia, para el Proyecto de Construcción de la Planta Geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Primera Etapa). Se ha planificado la perforación de cuatro pozos de producción y tres pozos de reinyección para la construcción de una planta de energía geotérmica de 50 MW.

La Planta de Energía Geotérmica de Laguna Colorada será la primera planta de energía geotérmica en Bolivia y se contratará al contratista para la perforación de los pozos geotérmicos del Proyecto de entre compañías privadas competentes, incluyendo compañías de perforación de petróleo/ gas.

Antes del inicio del Proyecto, se requiere las revisiones técnicas de las perforaciones de pozos en los informes existentes y la evaluación de los tipos de contrato aplicables para la perforación de pozos.

Bajo estas circunstancias, JICA decidió llevar a cabo la Asistencia especial para la implementación del Proyecto (SAPI) para el Proyecto de construcción de la planta geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Primera Etapa) para garantizar la implementación fluida del proyecto.

### 1.2 Objetivos y Alcance

#### 1.2.1 Objetivos

Los objetivos del estudio son la revisión de los informes existentes, la evaluación de los tipos de contrato aplicables a las perforaciones de pozos del Proyecto y la realización de seminarios para que



el personal de ENDE desarrolle una comprensión detallada de las condiciones del contrato para la contratación de las compañías perforadoras de pozos.

### **1.2.2 Áreas de Estudio**

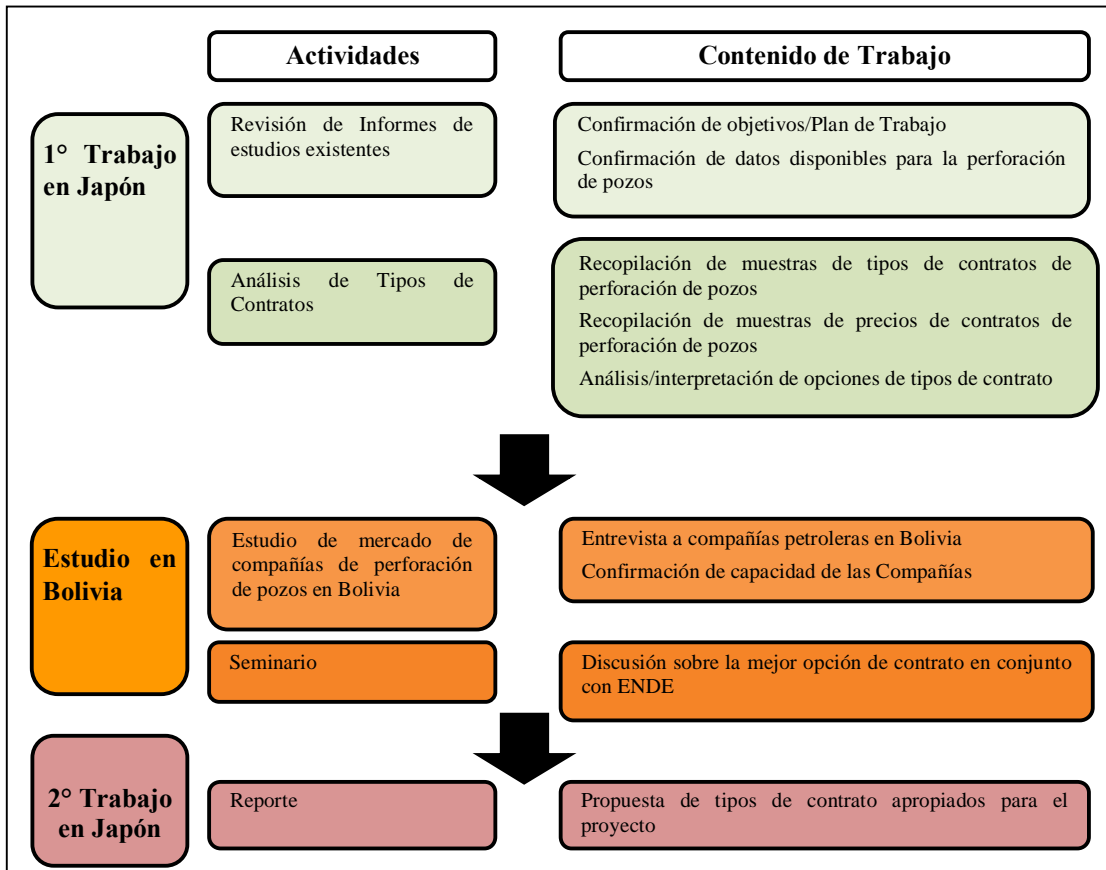
El estudio abarcó las siguientes ciudades de La Paz, Cochabamba, Santa Cruz de La Sierra y el sitio del Proyecto de Construcción de la Planta Geotérmica Laguna Colorada en el Departamento de Potosí. Al principio del informe se muestra un mapa de ubicación.

### **1.2.3 Alcances del Estudio**

- Revisión de reportes existentes e información disponible del Proyecto Geotérmico Laguna Colorada.
- Analizar los tipos de contrato disponibles para la perforación de pozos
- Estudio de mercado de compañías de servicios de perforación de pozos en Bolivia
- Realizar seminarios para el personal de ENDE con el objetivo de desarrollar un mejor entendimiento de las Condiciones de Contratación para la Perforación de Pozos y Aspectos Técnicos del Yacimiento Geotérmico Laguna Colorada.

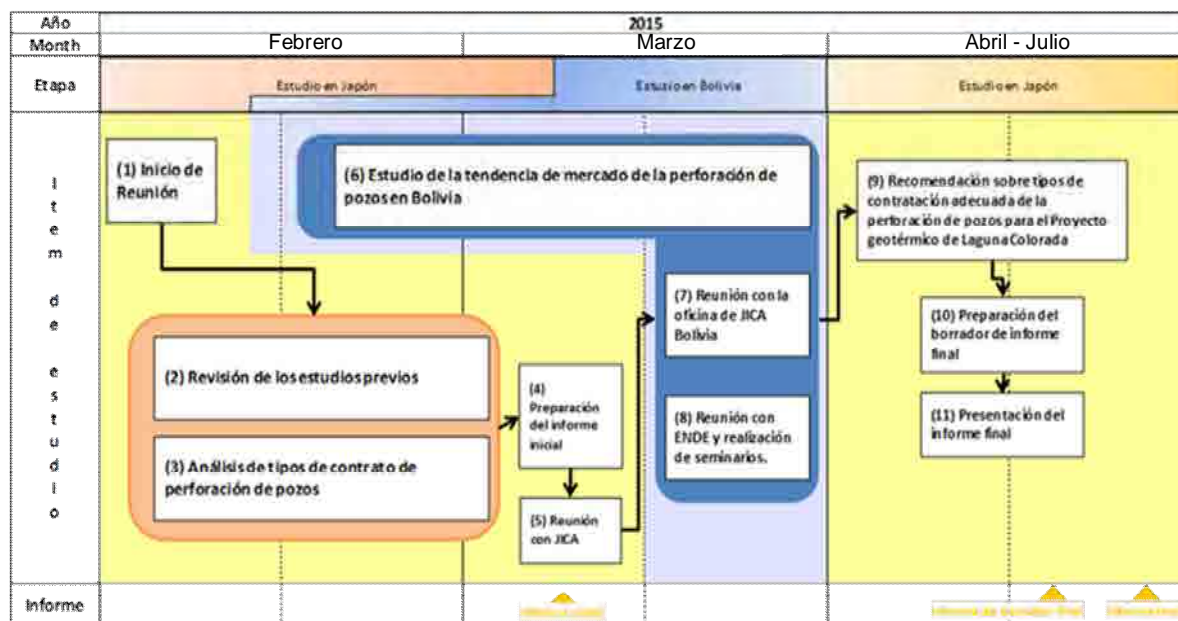
## CAPÍTULO 2 Metodología del Estudio

El estudio se realizó entre los meses de enero a julio del 2015 en un período total de 6 meses, aproximadamente. La Figura 261 muestra el Flujo de Trabajo del Estudio. El Cronograma del Trabajo se muestra en la Figura 262.



Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Figura 2-1 Flujograma de Trabajo



Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Figura 2–2 Cronograma del Estudio

## 2.1 Revisión de Informes

### 2.1.1 Recolección de Datos

En el presente estudio se revisaron los informes de estudios existentes, tal como se muestra en el Cuadro 261. Asimismo, en el Cuadro 262 se muestra el análisis realizado a todos los datos existentes sobre los pozos, y se compilaron todos los datos de registros realizados previamente, incluyendo los datos geofísicos.

Cuadro 2–1 Estudio Previo

	Informe Disponible	Contenido
1	JETRO (2008) Estudio de Factibilidad para la Construcción de la Planta Geotermoelectrica de Laguna Colorada, Potosí, Bolivia	Diseño Conceptual, Estimado de Costos
2	JICA (2010) Estudio Preparatorio para el Desarrollo Geotérmico de Laguna Colorada (Sol de Mañana), Informe Final	
3	JICA (2013) Proyecto Preparatorio para el Proyecto Construcción de la Central Geotérmica de Laguna Colorada, Informe Final	Pruebas de Producción de Pozos, Monitoreo Ambiental
4	ENEL (1989) Estudio de Factibilidad Geotérmica en el Área de Laguna Colorada ó INFORME SOBRE EL POZO SOL DE MAÑANA 1	Datos de Perforación de Pozos
5	ENEL (1989) Estudio de Factibilidad Geotérmica en el Área de Laguna Colorada ó INFORME SOBRE	

	EL POZO SOL DE MAÑANA 2	
6	ENEL (1989) Estudio de Factibilidad Geotérmica en el Área de Laguna Colorada ó INFORME SOBRE EL POZO SOL DE MAÑANA 3	
7	ENEL (1990) Estudio de Factibilidad Geotérmica en el Área de Laguna Colorada ó INFORME SOBRE EL POZO SOL DE MAÑANA 4	
8	ENDE (1994) Proyecto Geotermico Laguna Colorada, Ampliación de Perforaciones Geotérmicas ó Profundización del Pozo Sol de Mañana 64 (SM 64)	
9	ENDE (1994) Proyecto Geotérmico Laguna Colorada, Ampliación de Perforaciones Geotérmicas ó Profundización del Pozo Sol de Mañana 65 (SM 65)	

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

**Cuadro 2-2 Resumen de los Datos de Estudios Existentes**

Rubros de Estudio	Cantidades						
	No.	Ubicación		Elevación (m)	Profundidad (m)	Año	Realizado por
		X	Y				
Pozos	SM61	628743.58,	7518885.6	4858.8	1178.5	1988	ó
	SM62	627892.12,	7519428.5	4905.6	1486.5	1988ó1989	
	SM63	628596.1,	7519536.07	4884.8	1406.0	1989	
	SM64	630813.8,	7518915.58	4840.5	1726.2	1989, 1991	
	SM65	627246.8,	7519738.6	4903.5	1705.0	1992	
	AP61	****	****	****	****	****	
Estudio Geofísico	Estudio de resistividad eléctrica					1986	ENDE
	Estudio de gravedad (260 puntos)					1986	ENDE
	Estudio MT (69 puntos) y análisis de inversión tridimensional					2013	ENDE
Pruebas de Producción de Pozos	SM61, SM62, SM63, SM64, AP61					1987ó1990	UNDTCD
	SM62, SM65					1997	CFE
	SM61, SM63, SM62					2012ó2013	JICA

Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Nota: Coordenadas UTM Z19, WGS84

El cronograma del Proyecto, incluyendo el plan de perforación de pozos existente, se preparó sobre la base de los estudios completos de JETRO (2008), JICA (2010) y JICA (2013). Adicionalmente a estos informes, el presente estudio también revisó informes de estudios realizados por CFE y ENEL.

Los puntos de revisión de los informes de estudio se muestran en el Cuadro 263.

**Cuadro 2-3 Puntos de Revisión**

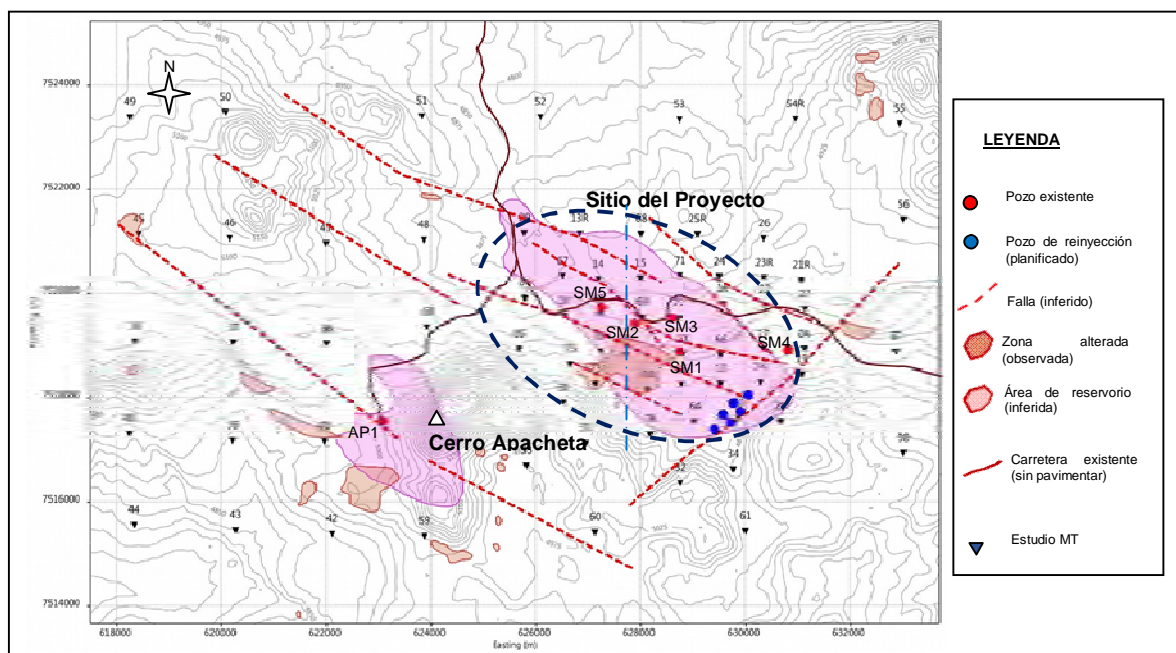
Datos	Puntos de Revisión
Datos originales	Estratigrafía, litología, alteración, manifestaciones geotérmicas, fallas, grietas, lineamientos, registros de pozos, secciones de fracturas en los pozos, datos geoquímicos, exploración eléctrica, estudio MT, estudio de gravedad.
Resultados de los análisis	Modelo de fractura, distribución de rocas de cubierta, fluido geotérmico, modelo conceptual geotérmico, simulación de caudal numérico, objetivos de perforación

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Cinco pozos existentes (SMó 1 al SMó 5) se encuentran en el sitio del Proyecto y un pozo (APó 1) se encuentra al pie del Cerro Apacheta, a unos 5 km al oeste del sitio del Proyecto. Los datos geológicos, los perfiles de temperatura y presión de los pozos existentes y los datos de las pruebas de producción están disponibles.

Luego del estudio de JICA (2013), ENDE llevó a cabo estudios de magnetotelúrica (MT), abarcando un área de 15 km x 8 km, aproximadamente a intervalos de 500 a 2000 m, y preparó un modelo de inversión tridimensional en el 2013. En este estudio también se reanalizaron los datos del estudio de gravedad.

La Figura 263 muestra la ubicación de los pozos y los puntos de registros MT.



Fuente: Equipo de estudio de JICA, usando como referencia el informe del Estudio Preparatorio de JICA (2010) para la zona alterada y los datos y el área de reservorio inferida

Nota: Se dedujo las ubicaciones de las fallas sobre la base del análisis de los datos MT (CGG, 2013).

**Figura 2.3 Mapa de Ubicación de los Pozos Exploratorios y el Estudio MT**

### 2.1.2 Interpretación del Plan Actual de los Objetivos para los Nuevos Pozos

Se verificó el plan actual de los objetivos para los nuevos pozos en base a los resultados de la revisión de los estudios geofísicos y el modelo conceptual geotérmico.

#### (1) Reconocimiento Geofísico

Se revisaron los objetivos planificados, basados en la revisión de la información obtenida en los sondeos geofísicos y en un análisis comparativo de un análisis de inversión 3D de los registros MT y en la información geológica existente incluyendo la información de registros de los pozos, etc.

## (2) Modelo Conceptual del Sistema Geotérmico

Se verificó individualmente cada uno de los tres factores principales que comprenden el modelo geotérmico, a saber, la estructura del reservorio, la fuente de calor y el fluido geotérmico.

Particularmente, dado que la distribución de las fallas y la temperatura subterránea son un factor importante para evaluar los objetivos de perforación, la litología, las fracturas y el perfil de la temperatura de los registros de pozos existentes, se reó analizaron los resultados de los datos del estudio geofísico y los datos del análisis topográfico (lineamientos).

## (3) Pozos de Poca Profundidad para el Suministro de Agua Fresca de Abasto para la Perforación de Pozos Profundos

Mediante entrevistas al Personal de ENDE y la medición del nivel de agua en los pozos existentes durante la visita al sitio del Proyecto, se confirmó la disponibilidad de pozos de poca profundidad. Basados en los resultados de la evaluación de la demanda de agua que se tendrá durante las actividades de perforación de los pozos y habiendo comprobado la poca capacidad de flujo de los pozos someros existentes se ha estimado la necesidad de perforar nuevos pozos.

### 2.2 Estudio sobre el Tipo de Contrato para los Trabajos de Perforación

Se analizaron e interpretaron los siguientes rubros:

- Método de pago
- Condiciones de Contrato
- Contrato por Paquete
- Enmienda del Contrato y Conformidad de JICA

### 2.3 Estudio de la Tendencia del Mercado de los Trabajos de Perforación

En la página del sitio en internet de la Red de la Cámara Boliviana de Hidrocarburos y Energía (<http://www.cbhe.org.bo/>), se tienen registradas cuarenta (40) compañías de petróleo/ gas basadas en Santa Cruz de la Sierra.

Se realizó un estudio de la tendencia del mercado para la perforación de pozos a través de entrevistas a once (11) compañías petroleras competentes y reconocidas internacionalmente, entre las cuales se incluyó a Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB), según se muestra en el Cuadro 264.

Del mismo modo, por medio de estas entrevistas se confirmaron los tipos de contrato disponibles para la contratación de empresas de servicios de perforación de pozos, considerando las diferencias técnicas y comerciales entre las perforaciones de pozos de petróleo/gas y los pozos geotérmicos.

**Cuadro 2-4 Principales Rubros del Cuestionario**

Rubros	Cuestionario
Tipo de Contrato	Disponibilidad de tipo de contrato
Experiencias	Cantidad y profundidad de pozos, experiencias en la perforación de pozos geotérmicos, experiencias de perforación de pozos en Bolivia y experiencias de perforación de pozos bajo condiciones climáticas extremas, tales como baja temperatura, elevada altitud, etc.

Tecnología /Propiedad	Número de personal, torres y equipos de perforación (propios o subarrendados), disponibilidad de torres de perforación, perforaciones direccionales, etc.
Otros	Adquisición de materiales (Materiales de fluidos de perforación, tubería de revestimiento, etc.), costo de pozos existentes.

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

## 2.4 Seminarios

Se realizaron dos seminarios en las oficinas de ENDE ó Andina ubicadas en la ciudad de Cochabamba para el personal de ENDE con el objetivo de mejorar su comprensión en las õCondiciones de Contratos para Perforación de Pozosö y õTemas Técnicos Relacionados con el Reservorio Geotérmico de Laguna Coloradaö. Estos seminarios fueron desarrollados los días 18 y 26 de Marzo de 2015.

## 2.5 Método de Pago Aplicable al Proyecto

Basados en los resultados del análisis en Japón, de las entrevistas en Bolivia y por medio de las conversaciones con ENDE, se evaluó el método de pago aplicable al Proyecto y se estudió las condiciones del contrato para la perforación de pozos.

## CAPÍTULO 3 Resultados de la Revisión Técnica

### 3.1 Revisión de los Estudios Existentes

#### 3.1.1 Estudio Geológico y Geoquímico

Basándose en JETRO (2008), se revisaron los resultados existentes del estudio geológico y geoquímico del área del proyecto. Además, aunque el reanálisis de los componentes químicos fue realizado en JICA (2013) por medio de pruebas de producción en los pozos exploratorios existentes, no se ve la diferencia con el resultado del análisis realizado anteriormente.

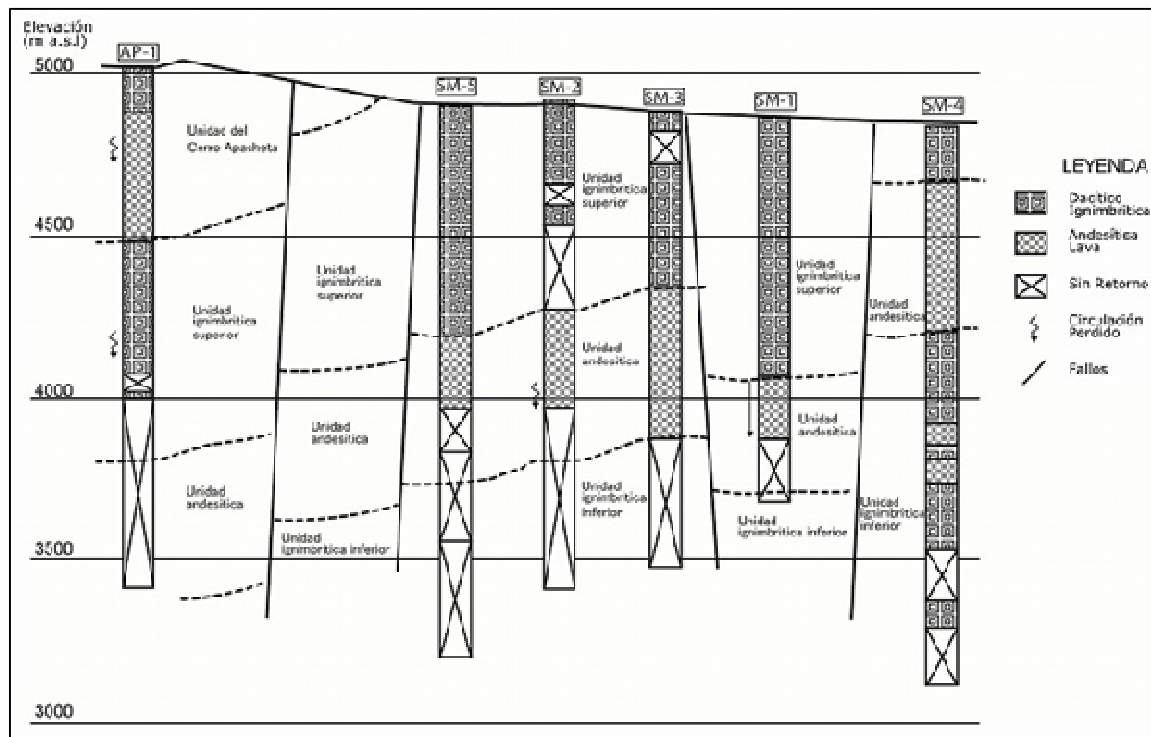
#### (1) Estudio Geológico

Se ha coleccionado los estudios existentes de (a) la estratigrafía, (b) la estructura geológica y (c) la alteración hidrotermal que es atribuida al control del sistema geotérmico de esta área.

##### (a) Estratigrafía

Hay cinco pozos exploratorios geotérmicos (SM61 ~ SM65) en el sitio del Proyecto localizados en el Campo Geotérmico Sol de Mañana, tal como se muestra en la Figura 361. Otro pozo exploratorio geotérmico (AP61) está localizado al pie del Cerro Apacheta, aproximadamente a 5 km del sitio del Proyecto.

Los componentes geológicos del sitio del Proyecto son rocas piroclásticas del Neogeno divididas en 4 capas, llamadas en orden ascendente: capa de ignimbrita baja, andesita, capa de ignimbrita superior y capa de Cerro Apacheta (Ver Cuadro 361). Las rocas sedimentarias del Cretáceo son inferidas bajo estas rocas piroclásticas, sin embargo, estas rocas sedimentarias no fueron observadas en los pozos existentes.



Fuente: JETRO (2008)

Figura 3–1 Columnas de Secciones Geológicas de los Pozos Geotérmicos



**Cuadro 3-1 Estratigrafía del Sitio del Proyecto**

Formación	Espesor	Descripción
Capa Cerro Apacheta	Alrededor de 500m	Se hace más delgada hacia el este, y no se pudo confirmar alrededor de los pozos SM61, SM62, SM64 y SM65. Consta de lava andesítica y principalmente se ven fenocristales de plagioclasa y biotita, y cuarzo, anfíbol así como piroxeno ligeramente cristalizado. El período de erupción de esta capa se ha estimado que fue entre 35 y 50 millones de años atrás.
Capa de ignimbritas superiores	600m ó 800m	Esta capa está compuesta de cuarzo, plagioclasa, biotita e ignimbritas dacíticas (incluyendo fenocristales de hornblenda). Muestra el cambio de color causado por la alteración hidrotermal (marrón rojiza en la parte de arriba y verdeo gris en la parte de abajo). A partir de la edad de la roca de la muestra de afloramiento, se estima que el período de erupción fue entre 140 y 120 millones de años atrás.
Capa de andesita	350m ó 500m	Para estructura de tipo fosa tectónica, alrededor del pozo SM6 1, esta capa se distribuye en un área aproximada de 300 m de mayor profundidad que las áreas circundantes. El color es verde o verdeo gris, y esta capa está compuesta de plagioclasa, biotita y andesita (incluyendo fenocristales de anfíbol y cuarzo)
Capa inferior de ignimbritas	6	Esta capa solo se ha confirmado en el pozo SM6 4 (a una profundidad mayor a la de 700 m), pero también se considera que está presente en la parte más profunda de SM61, SM6 2 y SM6 5. Consta de ignimbritas dacíticas duras y atraviesa varias láminas de lava andesita. Se estima que surgió del Mioceno al Paleoceno (hace unos 5 millones de años).

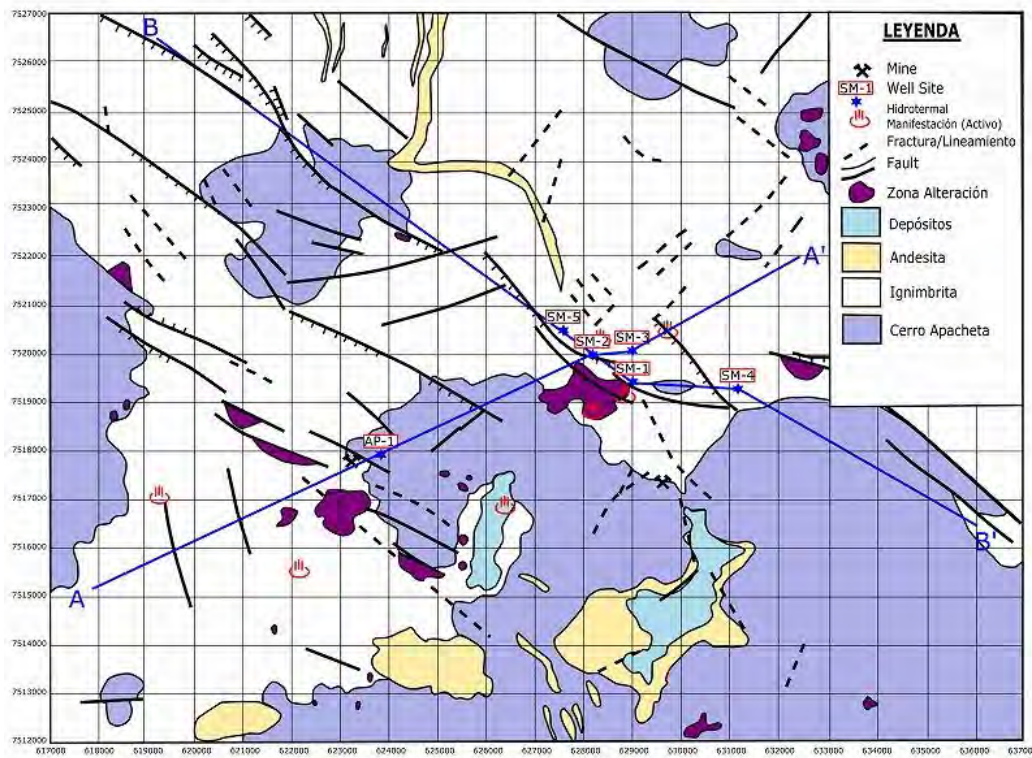
Fuente: Grupo de Estudio de JICA

(b) Estructura Geológica

Las rocas piroclásticas se inclinan suavemente hacia el Oeste. El conjunto de fallas principales se extienden ONO6ESE y NE6SO en dirección hacia el Campo Geotérmico Sol de Mañana, principalmente las fallas ONO6ESE están dominadas tal como se muestra en la Figura 362. Estos sistemas de fallas muy probablemente controlan el flujo y la distribución del fluido geotérmico en los Campos de Sol de Mañana y Cerro Apacheta (el pie occidental).

Un sistema de tres fallas consecutivas con dirección ONO6ESE es estimado en la parte central del sitio del Proyecto. Estas fallas se consideran como fallas de tipo normal. El sistema de fallas NE6SO (incluyendo el lineamiento) se ha distribuido entre las fallas del sistema ONO6ESE.

De acuerdo con la distancia en elevación del límite entre la capa de ignimbrita superior y la capa andesítica, se infiere una falla con dirección ONO que ocurre entre SM61 y SM63, y otra falla con dirección NW6SE se extiende entre SM61 y S6M4.



Fuente: JETRO (2008)

Figura 3–2 Mapa Geológico del Campo Geotérmico de Sol de Mañana

(c) Zona de Alteración Hidrotermal

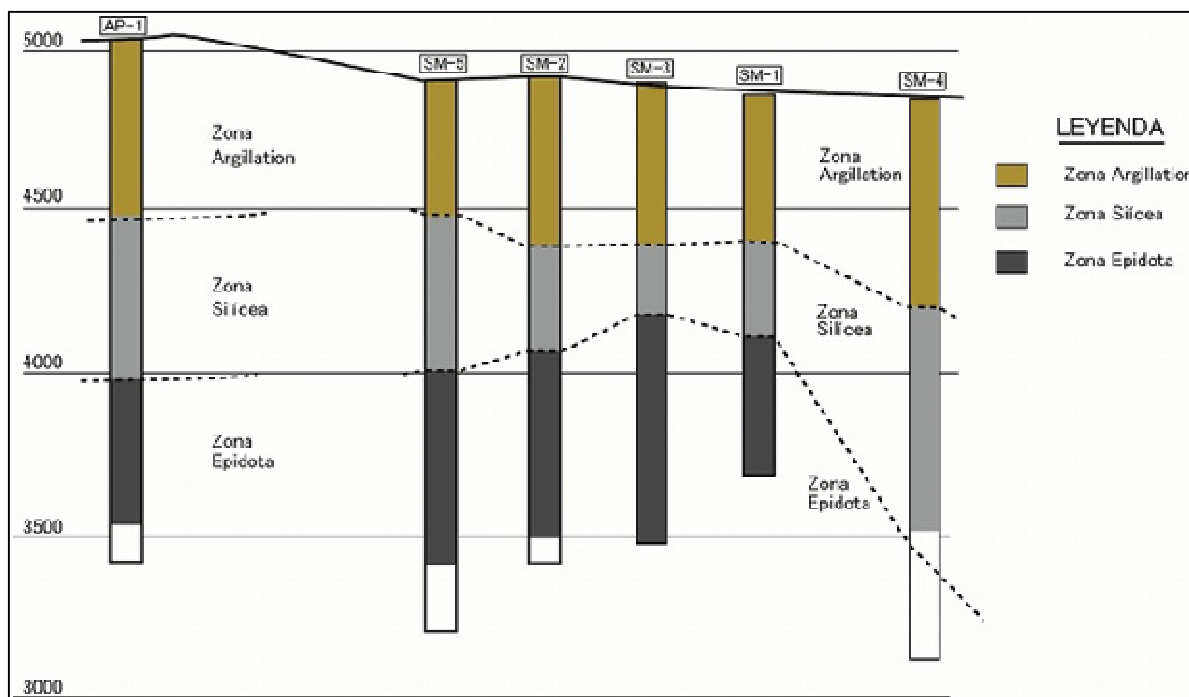
La cristalización de minerales de alteración hidrotermal puede ser un indicador de la estimación de temperatura en el subsuelo pasada o actual y una base estimada de la capa de rocas en la cubierta del reservorio geotérmico.

Según los informes previos, existen tres zonas minerales en esta área de proyecto, tales como la zona arcillosa, la zona silíceo y la zona epidota (Cuadro 3ó 2, Figura 3ó 3). En las rocas de seis pozos existentes, se observan minerales secundarios, tales como minerales de arcilla, illita, esmectita, clorita, zeolita, Romontita, Wairakita, calcita, pirita y epidota, y en general están alteradas en un grado alto o medio.

Cuadro 3–2 Resumen de los Minerales de Alteración Hidrotermal

Zona	Temperatura de Cristalización	Ocurrencia de Minerales Alterados
Zona Arcillosa	<180 °C	En general, a una profundidad menor a 500 m, se han cristalizado los minerales de arcilla y los minerales mixtos de sílice ó zeolita. Pero cerca del pozo SMó 4, yacen a mayor profundidad.
Zona Silíceo	180 °C ó 220 °C	Profundidad a la que yacen los minerales de sílice SM61, SM62 y SM63: a una profundidad entre 700 m y alrededor de 800 m SM65 y AP61: hasta una profundidad de aproximadamente 1,000 m SM64: a una profundidad de 1,300 o mayor
Zona Epidota	>200 °C	Epidota, clorita, sílice y los minerales de alteración hidrotermal de alta temperatura (albita y wairakita) están distribuidos a una profundidad mayor que el fondo de los pozos geotérmicos que se han perforado en esta área.

Fuente: Equipo de Estudio de JICA



Fuente: JETRO (2008)

**Figura 3-3 Sección Transversal de la Alteración**

**(2) Estudio Geoquímico**

Se han colectado datos geoquímicos (tales como aguas termales, agua de manantiales, gases de fumarolas y vapor (agua caliente) de los pozos geotérmicos).

(a) Características del Fluido de Reservorio

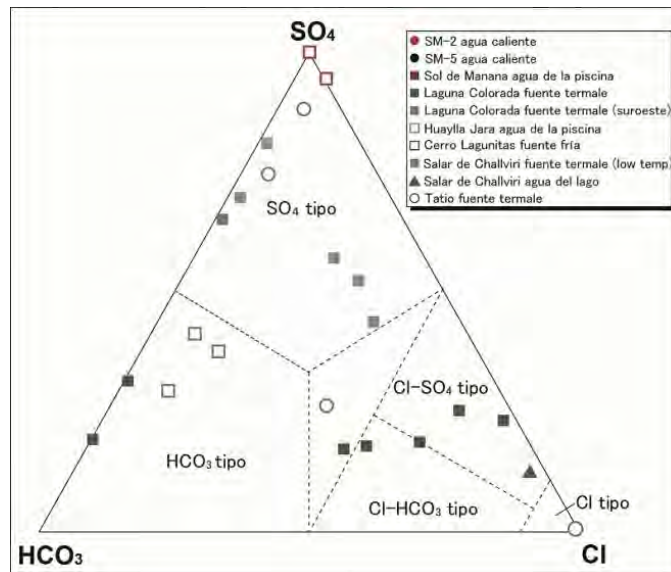
[Clasificación basada en los iones disueltos].

La clasificación de aguas termales, aguas de manantiales y aguas de pozos geotérmicos se muestran, en base a los principales iones disueltos, en la Figura 364, y en base a las características de cada fluido, en el Cuadro 363.

**Cuadro 3-3 Resumen de la Clasificación en base a los Iones Disueltos**

Fluido	Clasificación	Característica
Agua Termal y de manantial	Tipo SO <sub>4</sub> o tipo HCO <sub>3</sub> (Baja concentración de Cl)	Las aguas termales, como por ejemplo, Laguna Colorada, Cerro Lagunitas y el Salar de Chaliviri, tienen por lo general una concentración de Cl menor a la de las aguas termales de un pozo geotérmico.
Pozo de agua caliente	Tipo SO <sub>4</sub> (acidez)	Se la considera como agua subterránea de poca profundidad o agua superficial que ha sido calentada por los vapores y gas de fumarolas.
Agua caliente proveniente de pozo geotérmico	Tipo Cl (neutro)	La concentración de Cl, luego de una separación de vapor de presión atmosférica, es de 6,500 ó 9,500 mg/L (4,300 ó 6,600 mg/kg en el reservorio). La concentración del componente disuelto de Cl es relativamente alta.

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

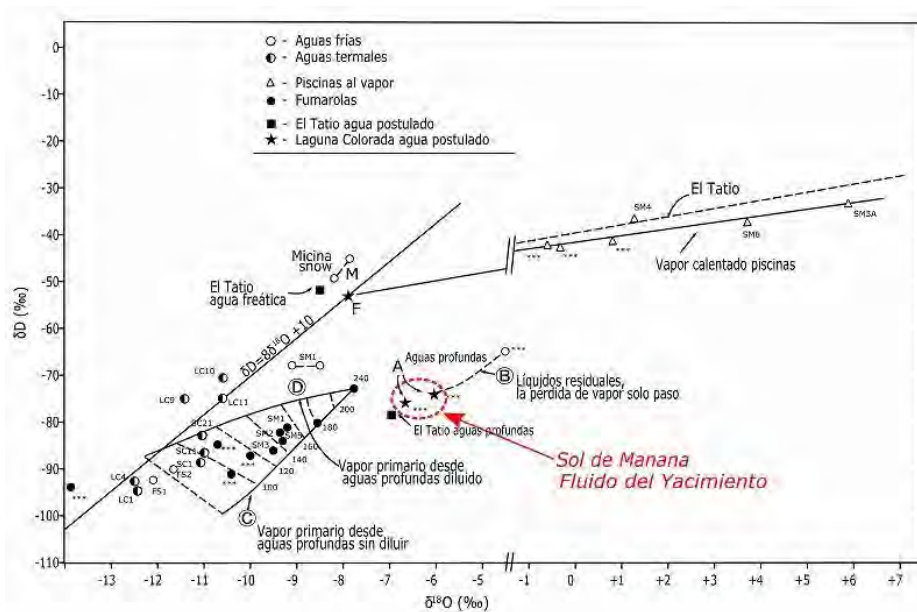


Fuente: JETRO (2008)

**Figura 3-4 Clasificación por Iones Disueltos**

[Estudio de D versus  $^{18}\text{O}$ ]

A partir del estudio de D versus  $^{18}\text{O}$  (Figura 365), se estima el fluido geotérmico como una mezcla de agua meteórica y agua magmática. Sin embargo, la proporción de mezcla de agua magmática es menor a un 30% aproximadamente y se considera que su origen principal es de agua meteórica. Se muestra que probablemente el área de recarga del agua meteórica se encuentre en la cercanía de las montañas conectadas a la parte oeste del área de proyecto (UNó ENDEóENEL: Estudio de Factibilidad Geotérmica en el Informe de Factibilidad del área de Laguna Colorada, 1991). Sin embargo, esto no es claro.

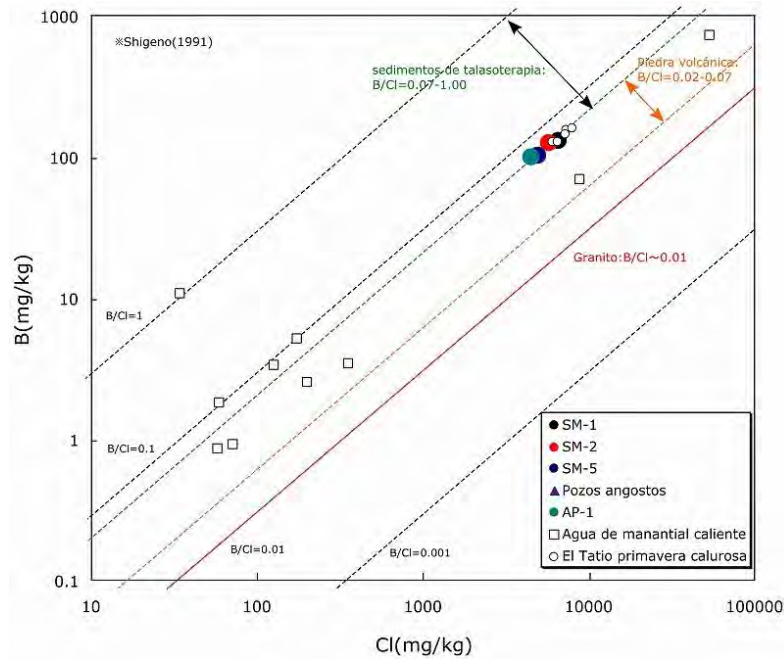


Fuente: JETRO (2008)

**Figura 3-5 Correlación de  $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$**

[Correlación de BóCl]

Se estima el mecanismo de generación del fluido geotérmico y las rocas de reservorio a partir del diagrama de correlación BóCl. La Figura 366 muestra el diagrama de correlación BóCl utilizando las aguas calientes de los pozos exploratorios existentes en el área de Laguna Colorada. El fluido del reservorio muestra una proporción atómica relativamente alta de B/Cl (aproximadamente 0.07), e indica que el agua caliente ha reaccionado con rocas sedimentarias marinas (Shigeno, 1991). No se ha confirmado la distribución de rocas sedimentarias marinas en los pozos geotérmicos a una profundidad cercana a los 1,700 m. Por lo tanto, se asume que existe una base de rocas sedimentarias distribuidas a una profundidad mayor, a 1,700 m, y los fluidos del reservorio han circulado hasta allí.



Fuente: JETRO (2008)

Figura 3-6 Mapa de Correlación de B-Cl

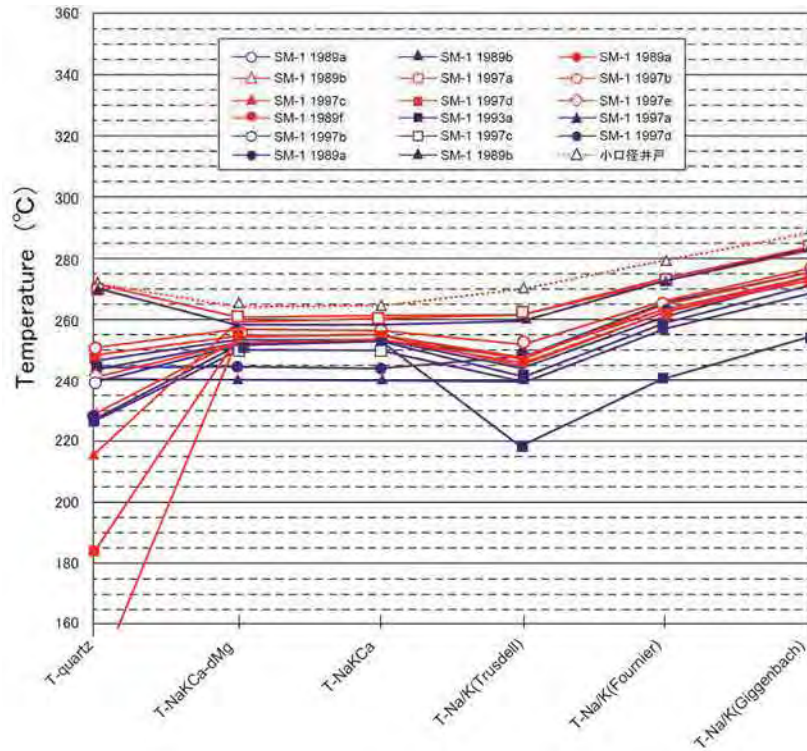
[Temperatura Geoquímica Estimada]

La Figura 367 muestra un diagrama de comparación de la temperatura geoquímica de las aguas calientes extraídas de los pozos exploratorios. Además, la Figura 368 muestra la temperatura geoquímica basada en la composición química del gas de los pozos exploratorios. Del agua caliente se ha estimado una temperatura geoquímica 270 °C, aproximadamente, y de 250 ~ 300 °C del vapor de agua. El resultado de la comparación se resume en el Cuadro 364.

Cuadro 3-4 Resumen de la Estimación de la Temperatura Geoquímica

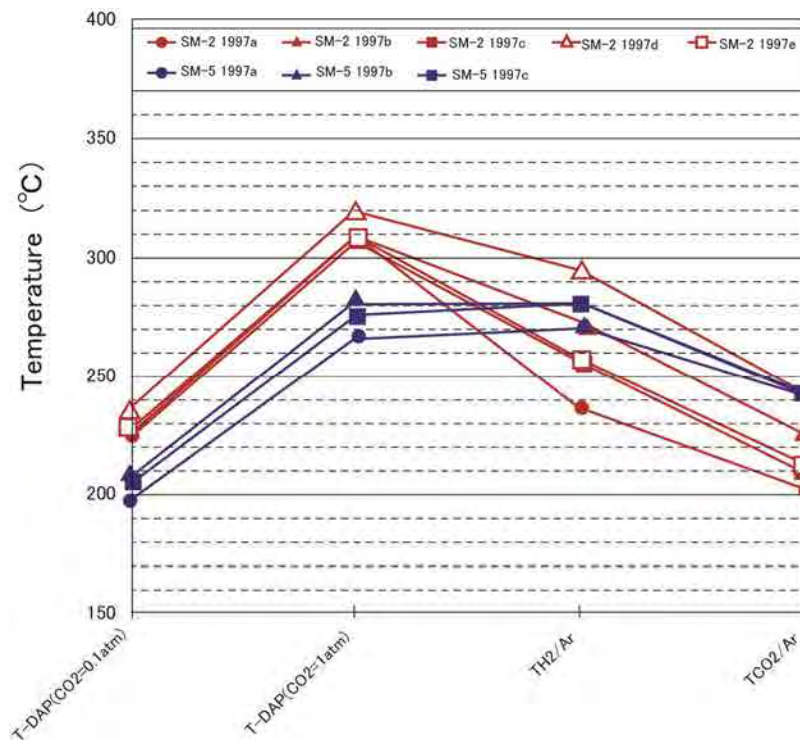
Fluido	Perspectiva General
Aguas calientes extraídas	<ul style="list-style-type: none"> <li>La temperatura NaKCaódmg muestra una temperatura constante de unos 240 ~ 264 °C, casi de acuerdo con la temperatura medida de los pozos de exploratorios.</li> <li>La temperatura de la sílice muestra una variación significativa.</li> <li>La temperatura máxima de Na/K (Truesdell, 1976) ha alcanzado los 270 °C; sugiere la posibilidad que el fluido geotérmico profundo tiene una temperatura de ~ 270 °C (la temperatura Na/K muestra las lentas velocidades de reacción comparadas con el otro termómetro químico y cuenta con información a mayor profundidad).</li> </ul>
Vapor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generalmente muestra la temperatura cerca a la temperatura medida de unos 250 °C</li> <li>TóDAP (Pco<sub>2</sub> = 1 atm) y la temperatura H<sub>2</sub>/Ar se encuentra en el rango de aproximadamente 250 ~ 300 °C. Sugiere la posibilidad de fluido geotérmico de alta temperatura en zona profunda.</li> </ul>

Fuente: Equipo de Estudio de JICA



Fuente: JETRO (2008)

Figura 3-7 Comparación de la Temperatura Geoquímica (aguas calientes)



Fuente: JETRO (2008)

Figura 3-8 Comparación de la Temperatura Geoquímica (gas)

A partir del resultado del estudio geoquímico, las características del fluido geotérmico del área del proyecto son como sigue:

- La mayoría del fluido geotérmico puede provenir de agua meteórica que gana calor pudiendo alcanzar una temperatura de hasta 270 °C o más. El calor, posiblemente, es transferido por el influjo de un fluido de alta temperatura y/o una conducción térmica.
- Es muy probable que la fuente de calor se encuentre a una profundidad mayor de 1,700 m desde el nivel del suelo; donde se contempla la presencia la base de rocas sedimentarias.
- El Campo Geotérmico Laguna Colorada se considera como un campo de Líquido Dominante.
- La distribución del reservorio geotérmico parece limitarse al lado este debido a que la temperatura del SMó 4 es baja.

(b) Incrustación

Con respecto a la incrustación a partir del fluido geotérmico, se analizó una pequeña cantidad de escamas depositadas en las cercanías del cabezal del pozo durante las pasadas pruebas de producción, y se confirmó que las escamas contenían cloruro de sodio (NaCl) y calcita (CaCO<sub>3</sub>). Sin embargo, en la prueba de producción (que duró hasta 3 meses) no se observó disminución en la cantidad de producción del fluido geotérmico. Por lo tanto, no se espera que la incrustación sea un problema grave.

Además, la formación de escamas de sílice a partir de las aguas calientes de reinyección a menudo causa problemas, tales como la reducción de la capacidad de absorción de los pozos de reinyección. Considerando la saturación de la sílica amorfa en el proyecto y asumiendo que la temperatura es de 260 °C, y si la temperatura del agua de reinyección se mantiene en 162 °C o más, puede considerarse que no se generará incrustación por sílice. Asimismo, cuando la temperatura es de 250 °C, y si la temperatura del agua de reinyección se mantiene en 150 °C o más, se considera que se puede evitar la formación de escamas de sílice.

### 3.1.2 Estudio Geofísico

#### (1) Estudio de Gravedad

Basados en el informe publicado por ENDE en 1986, se revisó y estimó las especificaciones, la metodología del procesamiento y el análisis de datos y la interpretación del estudio de gravedad. Por medio de JICA pudo adquirirse el archivo de los datos digitales de la ubicación y el valor de la anomalía de Bouguer de cada estación. Con estos archivos se creó un nuevo mapa de gravedad y se elaboró el primer mapa derivado.

(a) Estudio Previo de Gravedad

A fin de entender la geología, las condiciones geotérmicas y la estructura local de profundidad, en marzo de 1986 se realizaron estudios de gravedad junto con estudios geológicos, geoquímicos y exploraciones eléctricas. El área de estudio para el estudio de gravedad es de unos 500 km<sup>2</sup> alrededor de Sol de Mañana y se ha realizado un total de 260 mediciones en el área de estudio.

Se midió la gravedad en cada estación utilizando el gravímetro relativo de tipo G fabricado por La Coste & Romberg, de los Estados Unidos. Este tipo de medidor de la gravedad indica la diferencia de la gravedad entre el valor de gravedad absoluta conocido de cada estación y la estación base. Se estima la gravedad absoluta de cada estación añadiendo la gravedad medida a la gravedad absoluta de la estación base. La estación base G0 de este estudio se estableció en el área de aguas termales de Huaylla Jara, ubicada 14 km al noroeste del centro del área de estudio. Antes del estudio, se estimó la gravedad absoluta de 9777393.0 mgal en la estación base, utilizando la medición relativa a la gravedad absoluta conocida de la estación original de 977500.8 mgal. Esta estación original se ha fijado en las instalaciones militares en la orilla junto a Laguna Colorada.

Aunque había estaciones de difícil acceso debido a la accidentada topografía en el área de estudio, se ejerció el control de calidad sobre los datos observados. Cada día se chequeaba la calidad de los datos por medio de la diferencia en la gravedad medida entre las mediciones en la estación base, antes y después del estudio diurno dentro de una desviación especificada. Se nivelaba la elevación o altitud de cada estación utilizando el instrumento de nivel óptico de propiedad de ENDE. Luego de haber realizado una suficiente verificación de los datos de nivelación, se garantizó la calidad de los datos a lo largo de cada error de trazado dentro del valor especificado. Se estimó la gravedad absoluta de cada estación a partir de los datos de gravedad medida con la aplicación de corrección de onda y de desviación. La gravedad absoluta se convirtió a anomalía de Bouguer con la aplicación a latitud, terreno, aire libre y correcciones de Bouguer. Se aplicó la densidad de roca promediada para correcciones de terreno y de Bouguer de  $2.2\text{g/cm}^3$ .

Aunque había 260 estaciones en el área de estudio, la distribución heterogénea de las estaciones evita la delineación de las estructuras de la gravedad en todas las áreas. Se recomendó estaciones complementarias en la parte noreste y en la zona de alta gravedad en la parte oeste.

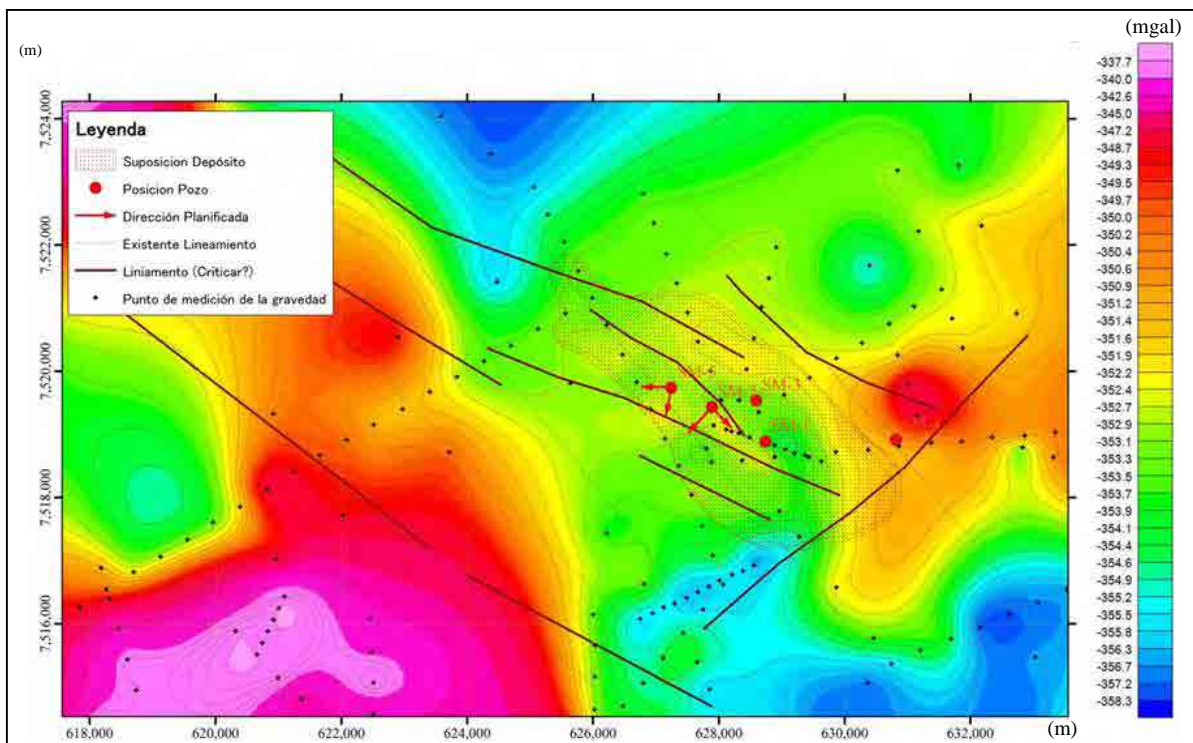
(b) Interpretación del Estudio de Gravedad (reóvaluación)

Se transformó la latitud y longitud de cada punto del área de estudio en UTM zona 19. Se realizó un mapa de gravedad con los datos de la red de gravedad a intervalos de 25 m y también se creó una primera imagen vertical derivada por medio de la diferenciación de los datos de la red con respecto a la verticalidad. El primer derivativo vertical tiende a realzar las fallas, los límites geológicos y las pequeñas anomalías más que el mapa de gravedad. La Figura 369 y la Figura 3610 muestran la zona previa de alteración hidrotermal de la superficie, el área de prospección geotérmica, el lineamiento recién extraído, los pozos existentes y los planeados y la dirección de las perforaciones en el mapa de gravedad o primera derivación vertical.

En la totalidad del área de estudio existe una alta anomalía extendida en dirección SO ó NE entre la Cordillera de los Andes y el centro del área de estudio. En el estudio anterior, se estimó un cuerpo de alta densidad de 263 km de ancho con  $2.662.7\text{ g/cm}^3$ . Grandes anomalías de gravedad baja se distribuyen al norte y sur del área de estudio.

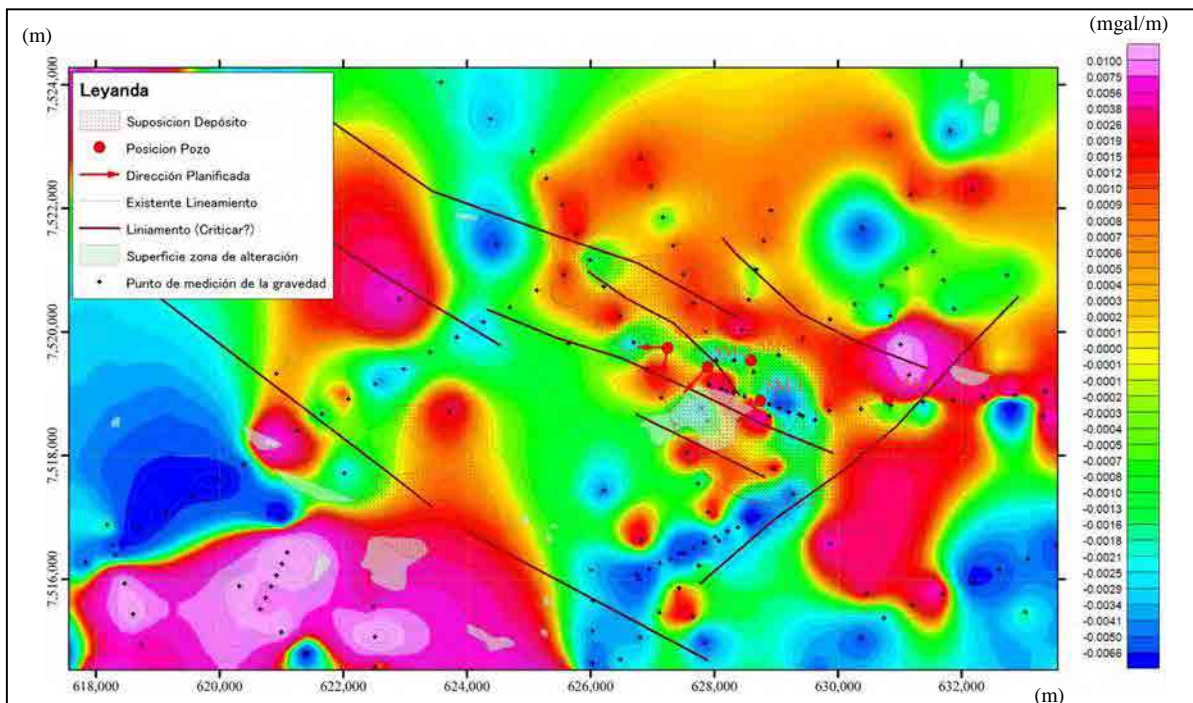
En el área de interés, existe una gran anomalía de alta gravedad en la parte suroeste y una pequeña anomalía de alta gravedad en la parte este. En el centro del área, una anomalía relativamente alta se extiende hacia el este y el oeste entre ellas. Se estima la existencia de un reservorio geotérmico en V invertido de alta gravedad central y al noreste de la anomalía de alta gravedad en el suroeste. Cuatro pozos, a excepción de SMó 4, se encuentran a lo largo de la dirección con tendencia NO ó SE en la pequeña anomalía de alta gravedad en V invertido de la alta gravedad central.





Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos originales: ENDE (1986)

**Figura 3-9 Mapa de la Anomalia de Bouguer (densidad de corrección 2.2 g/cm<sup>3</sup>)**



Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos originales: ENDE (1986)

**Figura 3-10 Mapa del Primer Derivativo Vertical**

El mapa del primer derivativo vertical muestra una anomalía baja con tendencia NNOSSSE que corta transversalmente la anomalía alta alargada desde la parte suroeste a la parte noreste al centro del área de interés. Los dos reservorios geotérmicos estimados se sitúan a ambos lados de esta baja anomalía. Los pozos se encuentran en la pequeña baja anomalía con tendencia ONO ESE y la dirección planeada de la perforación podría ser hacia la pequeña alta anomalía.

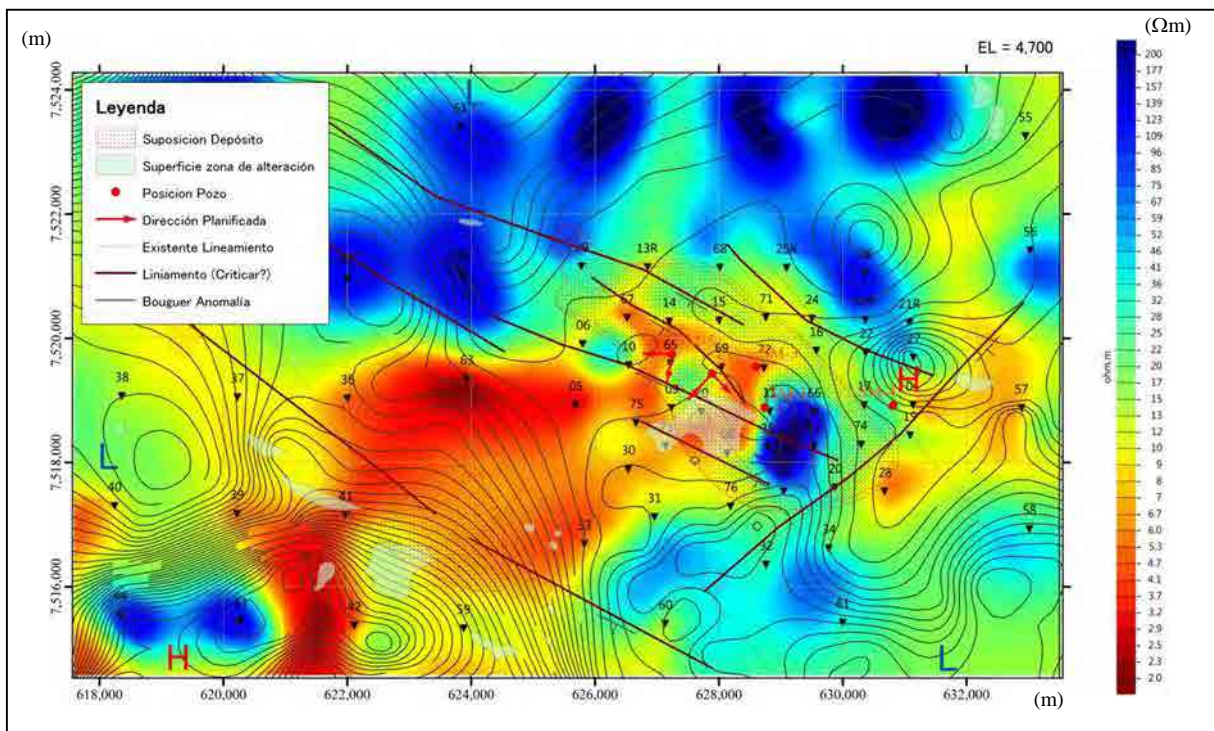
**(2) Estudio MT**

**(a) Estudio MT**

ENDE llevó a cabo 69 puntos de estudio MT en el área de interés. Los puntos de estudio se colocaron en una red de 500 m alrededor del reservorio geotérmico estimado donde están los pozos y a 2 km fuera de éste. Los datos adquiridos son un mapa de resistividad aparente a una frecuencia de doce con un rango entre 0.005 ó 600 Hz y el resultado de un análisis de inversión 3D. El resultado del análisis de inversión 3D incluye imágenes del mapa de resistividad a intervalos de 200 m, desde 2,000 m.s.n.m. hasta 5,000 m.s.n.m., la sección transversal de la resistividad de trece perfiles norteós sur y nueve perfiles esteóeste, el cuadro comparativo de mediciones con la curva de resistividad aparente y la curva de fase calculadas y los datos digitales de resistividad en la red 3D.

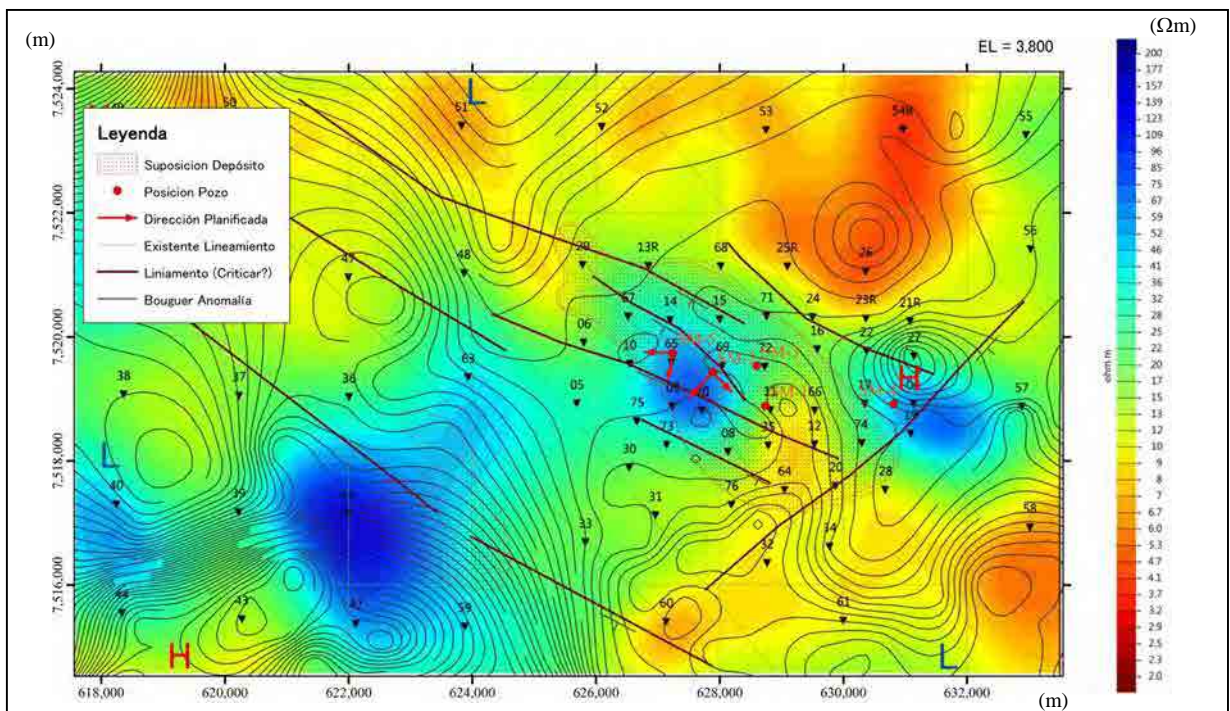
**(b) Interpretación de la Distribución de la Resistividad (Reó Evaluación)**

Para la interpretación de datos, las Figuras 3611, 3612 y 3613 muestran la zona anterior de alteración de superficie hidrotermal, el área de prospección geotérmica, el lineamiento recién extraído, los pozos anteriores y los planeados, la dirección de la perforación y la anomalía de Bouguer en los mapas de resistividad a 4,700 m.s.n.m., 3,800 m.s.n.m., 2,900 m.s.n.m. y 2,000 m.s.n.m., respectivamente. Más aún, para la comprensión de la distribución tridimensional de la resistividad alrededor del área de prospección geotérmica, se creó un diagrama de superposición en 3D (Figura 3615) por medio de la preparación de cuatro mapas de resistividad por orden de altitud o elevación.



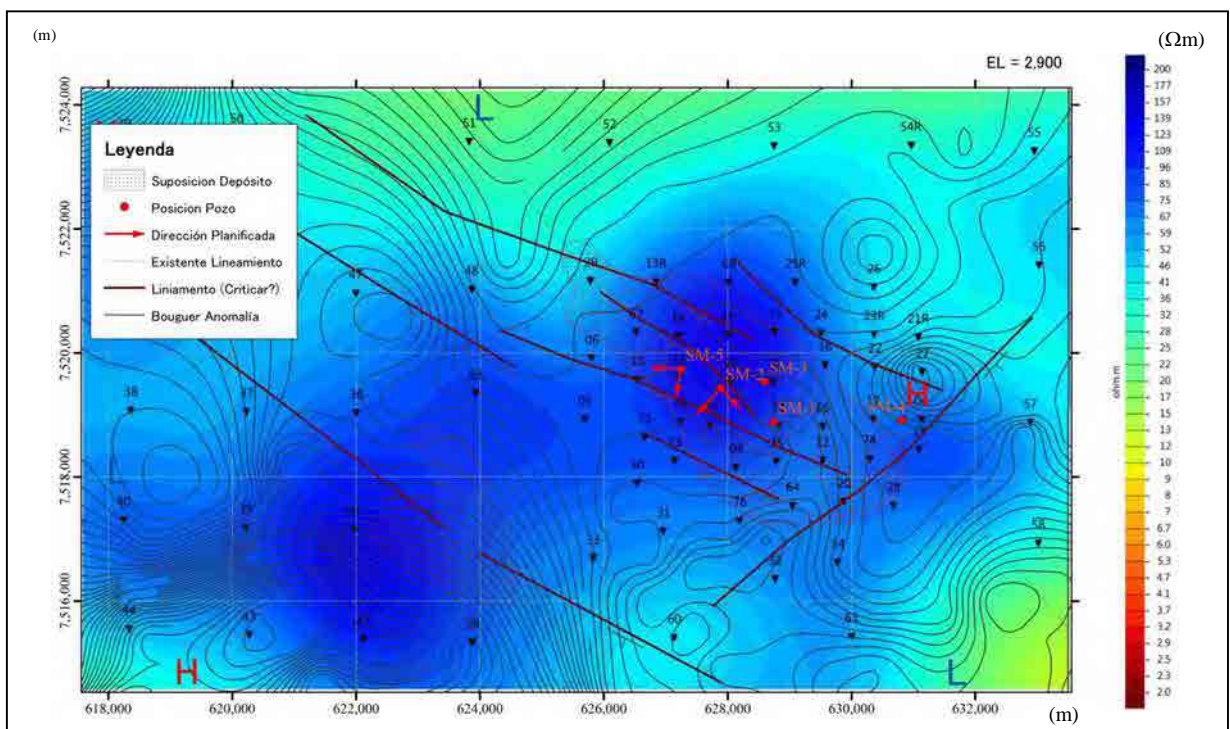
Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos originales: CGG (2013)

**Figura 3–11 Mapa de Resistividad 3D por Método MT (4,700 m.s.n.m.)**



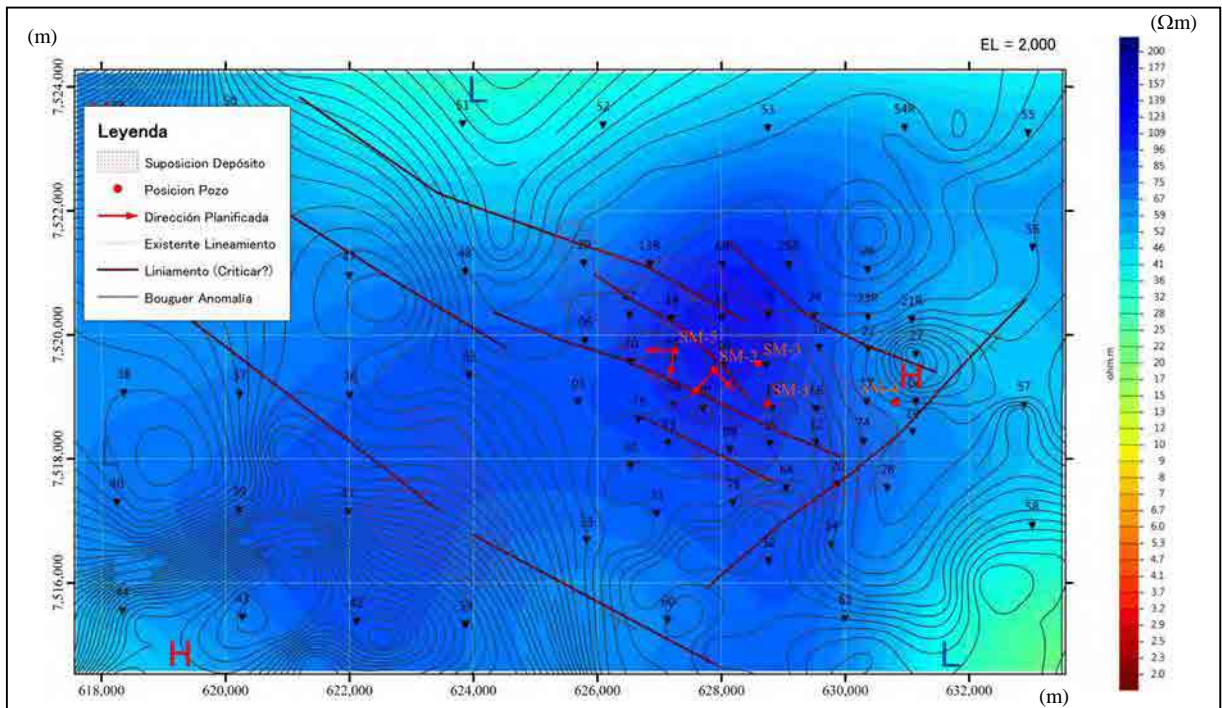
Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos originales: CGG (2013)

**Figura 3–12 Mapa de Resistividad 3D por Método MT (3,800 m.s.n.m.)**



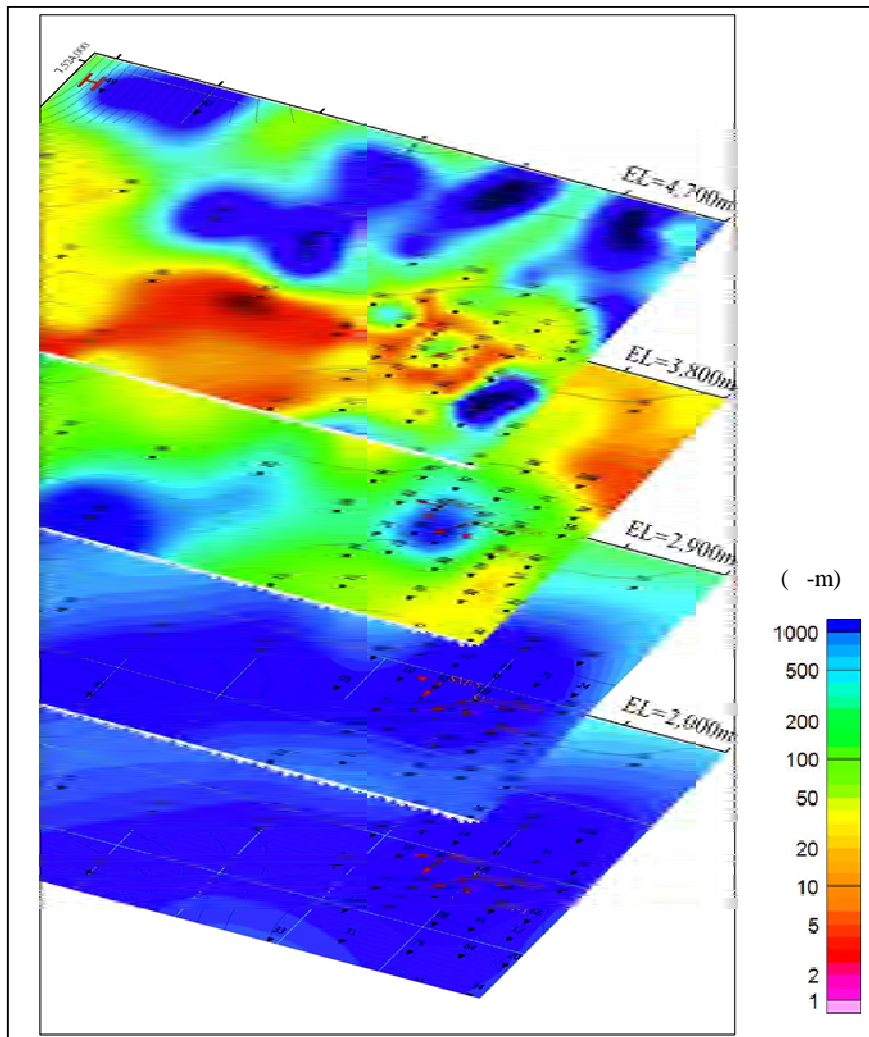
Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos originales: CGG (2013)

**Figura 3–13 Mapa de Resistividad 3D por Método MT (2,900 m.s.n.m.)**



Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos originales: CGG (2013)

Figura 3–14 Mapa de Resistividad 3D por Método MT (2,000 m.s.n.m.)



Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos originales: CGG (2013)

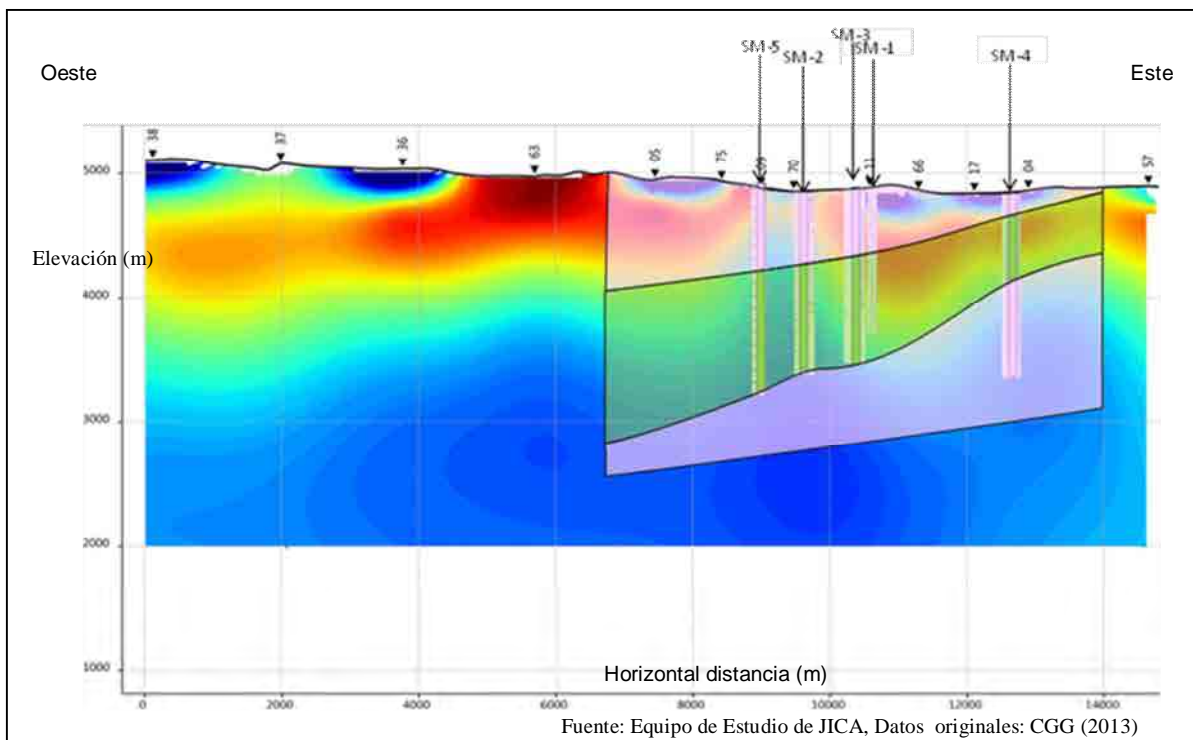
### Figura 3–15 Diagrama de Superposición de Resistividad 3D por Medio del Método MT

Con relación a la distribución de la resistividad a menor profundidad de 4,700 m.s.n.m., la zona de baja resistividad se alarga en dirección Noreste desde la parte Noreste de la anomalía de alta gravedad al Suroeste del área de interés hacia el centro. La anomalía de menor resistividad en esta zona central de baja resistividad tiende a ir en dirección NO ó SE. Alrededor de la anomalía de alta gravedad en la parte Este del área de interés también se observa una baja resistividad. Dos reservorios geotérmicos estimados y la zona superficial de alteración hidrotermal ubicada en el área muestran baja resistividad y los pozos también se han colocado dentro o al margen de la anomalía de baja resistividad.

La distribución de la resistividad se invierte a 3,800 m.s.n.m., lo cual significa que las áreas de baja resistividad a 4,700 m.s.n.m. muestran una alta resistividad a 3,800 m.s.n.m. y las áreas de alta resistividad muestran baja resistividad. El reservorio geotérmico en el suroeste corresponde a la anomalía de alta resistividad y el reservorio geotérmico central se compara a la alta resistividad que rodea el área de baja resistividad.

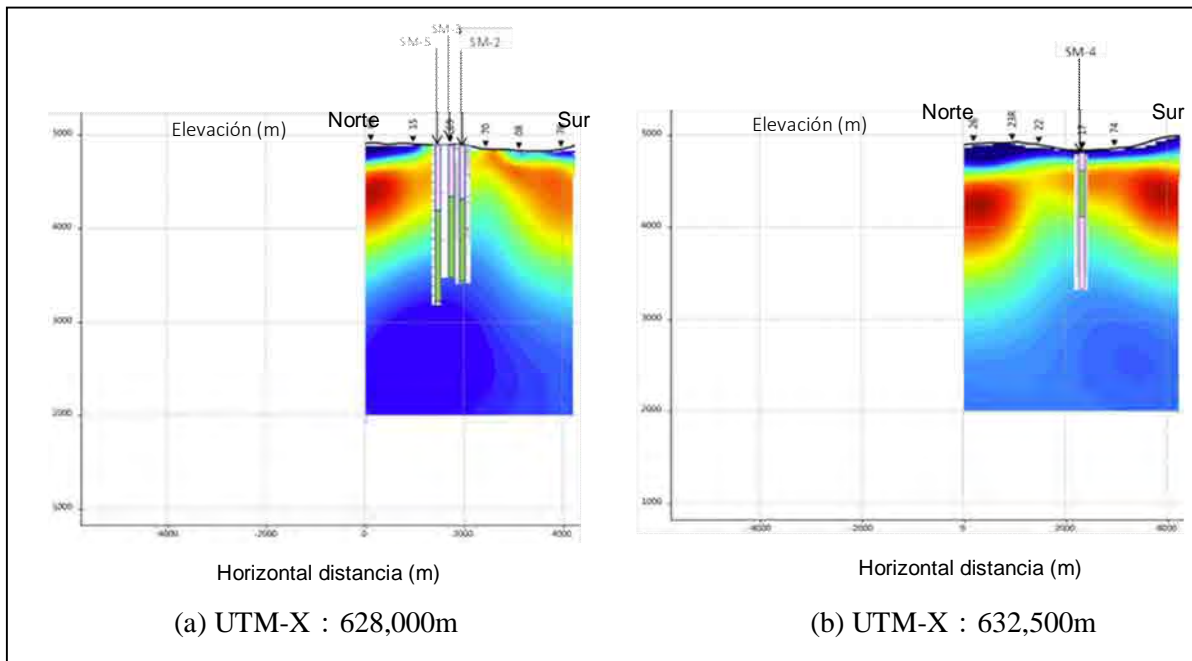
A 2,900 m.s.n.m. la zona de alta resistividad se distribuye ampliamente, con excepción de la parte Norte y al Sudoeste del área de interés. La distribución de alta resistividad es similar a la distribución de gravedad (anomalía Bouguer).

A 2,000 m.s.n.m. la distribución de alta resistividad muestra la misma tendencia; sin embargo, el área de alta resistividad se amplía.



**Figura 3-16 Sección Transversal Este- Oeste de la Resistividad 3D por el Método MT (UTM- Y: 751,900 m)**

La Figura 36 16 muestra la sección transversal Eó O de la resistividad alrededor de los pozos. Esta sección transversal muestra tres capas que son la capa de alta resistividad bajo de la superficie, el basamento o subsuelo más bajo de alta resistividad y la capa de baja resistividad entre éstas. En algunas áreas queda expuesta la capa media de baja resistividad. Alrededor del punto 63, punto 09 ~70 y el punto 04, el basamento o subsuelo de alta resistividad también se levanta. Particularmente, alrededor del punto 09 ~70, éste se levanta casi hasta la superficie y a ambos lados de este levantamiento se les considera límites formados por fallas. La columna geológica de cada pozo existente se proyecta en la sección transversal geológica desarrollada. Esta sección transversal geológica indica buzamiento general al oeste en tres capas. Se podría comparar la capa más alta y la segunda capa con la capa de resistividad baja media y la capa de resistividad alta respectivamente, en SMó 5 ~ SMó 1 mientras que la capa más alta, la segunda capa y la capa más baja se podrían comparar con la capa de alta resistividad de la superficie, el basamento o subsuelo de resistividad media baja y alta resistividad, respectivamente, en SMó 4. Se debe considerar esta diferencia con los pozos futuros.



Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos originales: CGG (2013)

**Figura 3–17 Sección Transversal Norte – Sur de Resistividad 3D por el Método MT**

La Figura 3ó 17 muestra secciones transversales N óS alrededor de los pozos SM ó2, SMó3 y SMó5 y alrededor del pozo SM ó4. Ambas secciones transversales indican tres capas como sección transversal Eó O y basamento o subsuelo de alta resistividad que se levantan alrededor de los pozos. En la sección transversal N óS alrededor de los pozos exploratorios existentes SMó 2, SMó3 y SMó5, el levantamiento del basamento o subsuelo de alta resistividad al sur del pozo SMó 2 es muy inclinado y sugiere la existencia de una falla. Por otro lado, en la sección transversal N ó S alrededor del pozo SMó 4, el levantamiento del basamento o subsuelo de alta resistividad en dirección norte es muy inclinado y sugiere también la existencia de una falla.

La Figura 3ó 18 muestra la distribución 3D que resulta del análisis de resistividad 3D. Estas figuras muestran tres capas que significan una capa de alta resistividad en la superficie, una capa de resistividad media baja y una capa de alta resistividad al fondo en esta área. La Figura 3ó 18 (a) muestra que la superficie del Noroeste a la parte del centro está cubierta por una capa de alta resistividad y los pozos se ubican en el lugar donde se encuentra expuesta la capa de resistividad media baja o al borde de ésta. Las secciones transversales que atraviesan el pozo exploratorio existente SMó 5 como (b) ~ (d) muestran el levantamiento cónico del basamento o subsuelo de alta resistividad alrededor de los pozos exploratorios existentes SMó 1, SMó 2, SMó 3 y SMó 5.

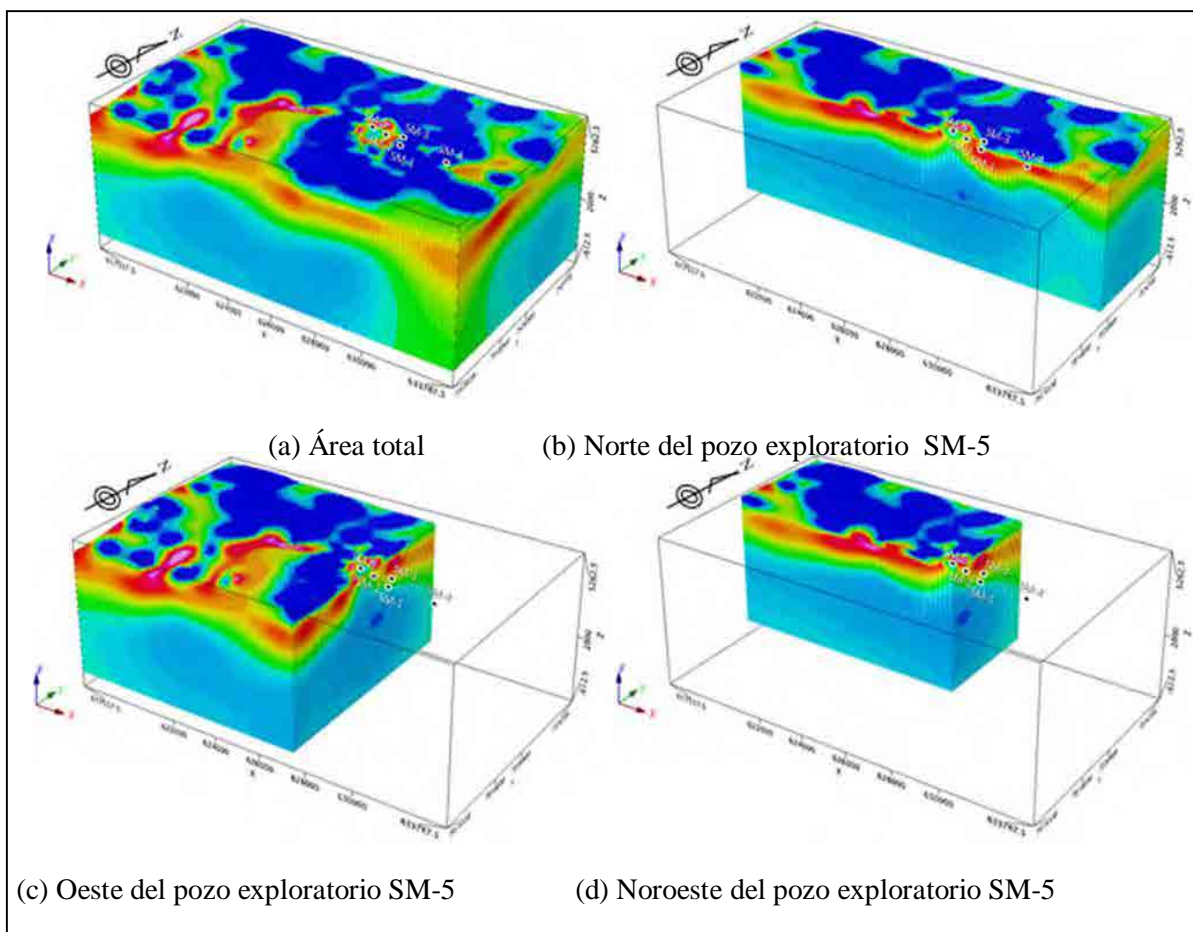
**(3) Revisión y Evaluación Comparativa con el Estudio de Gravedad y el Estudio MT**

La distribución de la zona de alta resistividad en el mapa de resistividad por el método MT a 2,000 m.s.n.m. y 2,900 m.s.n.m. se ajusta en gran medida a la distribución de la gravedad (anomalía de Bouguer). Esta zona de alta resistividad indica el levantamiento de basamento o subsuelo de alta resistividad y éste podría compararse con el basamento de la gravedad (densidad).

La Figura 3ó 19 muestra la estructura geológica en el mapa de la gravedad o el primer mapa derivativo vertical alrededor de la planta de energía geotérmica de Ogiri en Japón. El reservorio geotérmico de la planta de energía geotérmica de Ogiri está emplazado en una zona de alta gravedad que está compuesta de una zona de fractura como fallas, las cuales se indicaron en el primer mapa derivativo vertical. El área del reservorio geotérmico está emplazada en una zona

de alta gravedad y se compone de una zona tanto de fracturas como de fallas, según se indica en el primer mapa derivativo vertical. El primer mapa derivativo vertical muestra algunos lineamientos alrededor de los pozos. La característica acerca de la distribución de gravedad es similar a la característica alrededor de la planta de energía geotérmica de Ogiri.

La Figura 36 20 muestra la sección transversal de la resistividad establecida por Takakura (2014) por medio del método MT alrededor de la planta de energía geotérmica de Ogiri. Esta sección transversal tiene características en común con la estructura de la resistividad alrededor de los pozos SMó 1, SMó 2, SMó 3 y SMó 5 en esta área en el punto del levantamiento inclinado de la capa de resistividad alta debajo de la capa de resistividad baja alrededor de la planta de energía. Debido a que la distribución de la baja resistividad cerca de la superficie podía compararse con la distribución de la alteración hidrotermal, la baja resistividad alrededor de los pozos se comporta como las rocas de cubierta alteradas y las fracturas en el basamento de alta resistividad en el fondo se consideran como el reservorio geotérmico.



Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos originales: CGG (2013)

**Figura 3–18 Distribución 3D que Resulta del Análisis de Resistividad 3D con Método MT**

El pozo existente SMó 4 está ubicado en una zona de alta gravedad y levantándose sobre el basamento de alta resistividad debajo de la capa de baja resistividad, la cual podría considerarse como el reservorio geotérmico.

Los pozos existentes SMó 1, SMó 2, SMó 3 y SMó 5 están ubicados en los límites de baja resistividad, donde la resistividad cambia drásticamente en el estudio MT. Con relación a los resultados del estudio MT y al incremento de profundidad, los valores de resistividad aumentan y se extienden, pero cada pozo está emplazado en los límites.

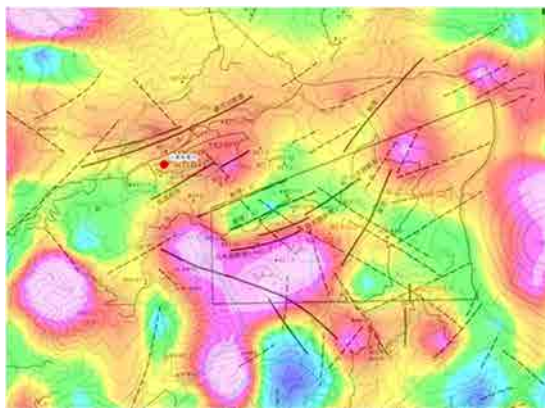


Al comparar el estudio de gravedad, las ubicaciones planeadas están localizadas en la pequeña anomalía en forma de V invertida de la alta anomalía. Éstas ubicadas en la parte de alta gravedad, lo que significa que el basamento o subsuelo es la parte levantada y cambiante de la baja resistividad. Ésta es una estructura clásica que sugiere la existente de un reservorio geotérmico y muestra la presencia de una estructura de fractura o de reservorio.

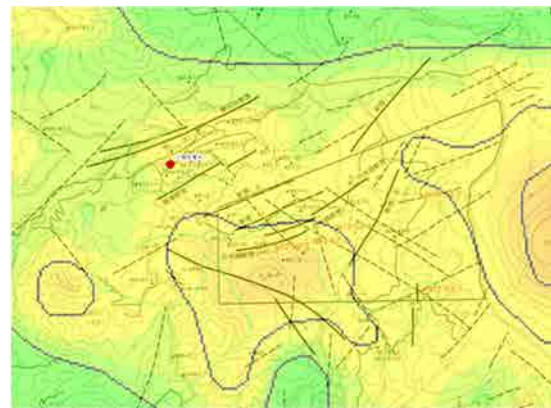
El pozo SM 04 se encuentra a unos 2 ó 4 km al Este de estas ubicaciones y se encuentra al borde de la anomalía de alta gravedad. A diferencia de la ubicación de los otros 4 pozos, el mapa de resistividad los muestra claramente en la parte profunda y no tan bajo en la parte de poca profundidad. Todas las ubicaciones planeadas de los pozos se han emplazado en la parte en que cambia la estructura y la fractura estimada. Estas ubicaciones se consideran razonables.

De acuerdo a los datos disponibles, existen ocho estructuras con una línea de tendencia NO6 SE y una línea de tendencia NE6 SO. La característica no es clara pero estas estructuras podrían estar relacionadas con falla, fractura y actividad hidrotermal debido a la ubicación de la zona de alteración, la ubicación estimada del reservorio y la dirección. También corresponde a la estructura elevada del basamento. Las ubicaciones planeadas de los pozos se encuentran cercanas a estas estructuras y podrían ser consideradas parcialmente como objetivos. Estas estructuras lineales son consideradas como reservorios potenciales porque corresponden a estructuras geológicas, las cuales se las estima como tales por la distribución de gravedad y distribución de la resistividad por MT.

Según estas consideraciones, a las ubicaciones de los pozos planeados por la información del estudio geofísico actualmente se las considera razonables y se estima que no sea necesario cambiarlas significativamente.



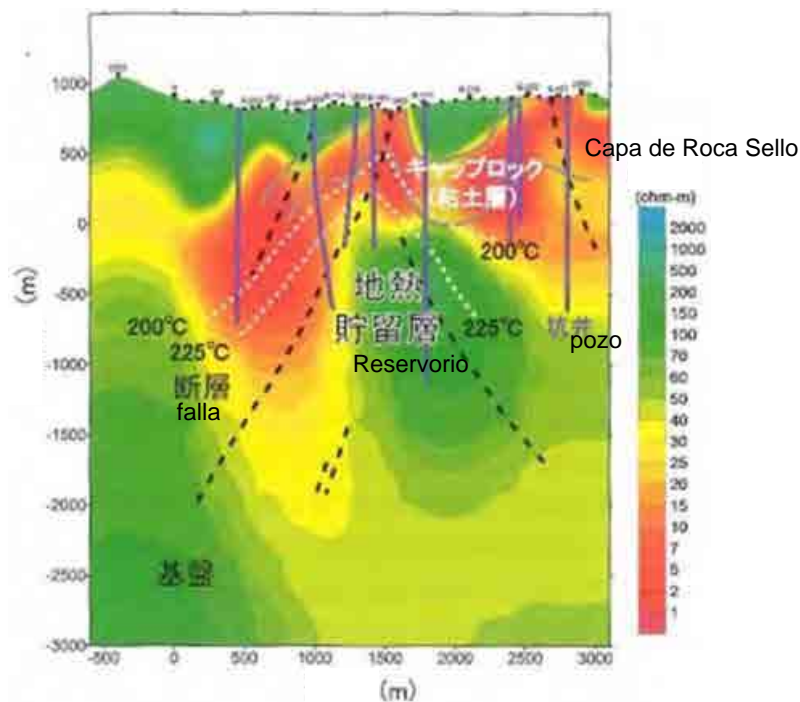
(a) Mapa de Gravedad (Anomalía de Bouguer)



(b) Primer Mapa Derivativo Vertical

Fuente: GSI, 2004; NEDO, 1983; NEDO, 2003

**Figura 3–19 Distribución de la Gravedad y Estructura Geológica Alrededor de la Planta de Energía Geotérmica de Ogiri**



Fuente: Takakura, 2014

**Figura 3-20 Sección Transversal de la Resistividad por el Método MT Alrededor de la Planta de Energía Geotérmica de Ogiri**

### 3.1.3 Datos de Perforación de los Pozos Existentes

Tal como se mencionó anteriormente, existen cinco pozos en el sitio del Proyecto. A continuación se describen los resultados de la revisión de los datos de los pozos de perforación en los informes existentes y la encuesta por medio de entrevistas.

#### (1) SM-1

La perforación de este pozo tomó un tiempo relativamente largo, a pesar de ser el menos profundo de los cinco pozos. En la primera etapa de la tubería de revestimiento (24 pulg. de diámetro), se requirió obras de extracción de tubería en tres ocasiones durante la instalación de la tubería de revestimiento, probablemente debido a muchos colapsos en la sección de poca profundidad. Los datos de perforación del pozo SM- 1 se resumen en el Cuadro 3-5.

#### (2) SM-2

La velocidad de perforación de pozos mejoró a partir de las experiencias de SM- 1. En la primera etapa, se llevó a cabo inicialmente una perforación de un agujero piloto con una broca de 12 -1/4 plg de diámetro y luego se utilizó un ampliador de agujero de 24 plg de diámetro para agrandar el pozo. Sin embargo, se registró un tiempo en espera debido a la escasez de agua de abasto durante el trabajo de perforación del pozo. Los datos de perforación del pozo SM- 2 se resumen en el Cuadro 3-6.

#### (3) SM-3

En la primera etapa, se perforó un agujero piloto con una broca de 12 ¼ plg de diámetro y luego se utilizó un ampliador de agujero de 24 plg de diámetro para agrandar el pozo. Las obras de perforación del pozo se suspendieron por 95 días entre la perforación del pozo de la 2da. Etapa y la 3ra. Etapa, debido a los problemas con las máquinas, etc. por la baja temperatura (por

debajo de ó 20 °C), problemas con las máquinas, etc. Los datos de perforación del pozo SMó 3 se resumen en el Cuadro 367.

**(4) SM-4**

En la primera etapa, se perforó un agujero piloto con broca de 12 ¼ plg de diámetro y luego se utilizó un ampliador de agujero de 24 plg de diámetro para agrandar el pozo. La perforación del pozo se detuvo a una profundidad de 1,474.0 m. Unos dos años después, se reinició la perforación del pozo y llegó a una profundidad de 1,726.20 m y se instaló una tubería de revestimiento de 7 plg (tubería de revestimiento parcialmente dividida) en la sección de la 4ta. Etapa. En el informe se describe un trabajo de pesca previo al reóinicio de las actividades de perforación en el pozo. Los datos de perforación del pozo SM ó4 se resumen en el Cuadro 368.

**(5) SM-5**

Los registros de perforación y la información relacionada con la perforación de este pozo no estaban disponibles, a excepción de un cuadro de perforación. Según este cuadro de perforación, el trabajo de perforación se suspendió por 131 días durante el invierno. Los datos de perforación del pozo SMó 5 se resumen en el Cuadro 369.

**(6) Resumen de los Datos de los Pozos de Perforación Existentes**

Para la perforación de los cinco pozos arriba mencionados (SMó 1 a SMó 5) se utilizó un equipo de perforación con capacidad de perforar hasta 3,000 m. En los informes que se revisaron en este estudio, no existe información alguna acerca del montaje, el desmontaje y el transporte del equipo de perforación y los materiales. Los datos de perforación de los cinco pozos se compilan en el Cuadro 3610.

**Cuadro 3-5 Resumen de los Datos de Perforación de SM – 1**

Rubros	Primera Etapa	Segunda Etapa	Tercera Etapa	Cuarta Etapa	Notas
Período	Set. 8. 1988 - Set. 20. 1988 (13 días)	Set. 21. 1988 - Oct. 5. 1988 (15 días)	Oct. 5. 1988 - Oct. 31. 1988 (27 días)	Nov. 1. 1988 - Nov. 15. 1988 (15 días)	
	Set. 8. 1988 - Nov. 15. 1988 (70 días) ※desconocido en cuanto a fechas de montaje y desmontaje				
Sección de perforación	0.0~75.0m	75.0~307.0m	307.0~762.0m	762.0~1178.5m	
	0.0~1178.5m				
Diámetro de pozo	24"	17-1/2"	12-1/4"	8-1/2"	
Programa de tubería de revestimiento	Conductor 20"CSG (K55,94lb/ ft) 69.0m	Superficie 13-3/8"CSG (K55,54.5lb/ ft) 302.7m	Producción 9-5/8"CSG (K55,40lb/ ft) 738.0m	※pozo abierto	
Broca de uso principal	17-1/2" (※escariador 24")	17-1/2"	12-1/4"	8-1/2"	
	Código IADC	131	131	617, 637	627, 731
Circulación perdida	Situación	※Desconocido	※Desconocido	※Desconocido	※Desconocido
	Provisión	※Desconocido	※Desconocido	※Desconocido	※Desconocido
Parámetro de perforación	Peso de broca	1~5t	5~15t	7~15t	4~8t
	Velocidad de rotación	70~110rpm	60~80rpm	50~70rpm	60rpm
	Tasa o velocidad de flujo	1430L/ min	1690~2930L/ min	1690L/ min	780~1950L/ min
Tasa o velocidad de Penetración (ROP)	6.3m/ día	23.2m/ día	28.4m/ día	32.0m/ día	
Fluido de perforación	agua de lodo bentonita	agua de lodo bentonita	Agua clarificada	Agua clarificada	
Perforación direccional	Pozo vertical	Pozo vertical	Pozo vertical	Pozo vertical	
Organización principal	• Broca 12-1/4" × abridor de pozo 17-1/2" × abridor de pozo 24"	• Broca 17-1/2" × ENCHUFE (STAB) 17-1/2" (formación de retención de ángulo)	• Broca 12-1/4" × ENCHUFE (STAB) 12-1/4" (formación de retención de ángulo)	• Broca 8-1/2" × escariador de rodillo 8-1/2" × ENCHUFE (STAB) 8-1/2"	
Problema	※Se dieron obras de extubación insertar la tubería de revestimiento (tres	Sin descripción	Sin descripción	Sin descripción	
Lodo de perforación	Bentonita: 68963 kg, Soda cáustica: 545 kg, F.M.: 295 kg, CMC: 227 kg, Cal: 272 kg				
Cemento (total)	Cemento clase G: 32500 kg, Cemento clase A: 49350 kg, harina de sílice: 24650 kg Aditivos de cemento (R6): 71 kg				
Equipo de cabeza de pozo	※Ninguno	• BOP anular 21-1/4" - 2000 psi • Ángulo de compuerta 20"-600 lb • Cabeza de pozo 21-1/4"-2000 psi	• BOP anular 21-1/4" - 2000psi • BOP pisones en W 13-3/8"-3000 psi • Ángulo de compuerta 13-5/8"-900 lb • Cabeza de pozo 13-5/8"-3000 psi	• BOP anular 21-1/4" - 2000 psi • BOP pisones en W 13-3/8"-3000 psi • Ángulo de compuerta 13-5/8"-900 lb • Cabeza de pozo 13-5/8"-3000 psi • Carrete o molinete adaptador 11"×13-5/8" • Carrete o molinete de expansión 11"×13-5/8"	
	• Ángulo de compuerta 11"-900lb × 2 nos, Ángulo de compuerta 3-1/8"-3000 psi × 2 nos				
Especificaciones de la máquina perforadora	• Plataforma: Massarenti 7000 SP • Capacidad: 5" DP 3600 m • Elevación: 227t • Motor: caterpillar 3408 TA(475HP) × 2 nos • Altura de mástil: 43 m • Bomba de lodo: Massarenti i7" x8" (750HP) × 2 nos				Plataforma de clase 3000 m

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

**Cuadro 3-6 Resumen de los Datos de Perforación de SM – 2**

Rubros	Primera Etapa	Segunda Etapa	Tercera Etapa	Cuarta Etapa	Notas
Período	Dic. 19. 1988 - Dic. 28. 1988 (10 días)	Dic. 29. 1988 - Ene. 14. 1989 (17 días)	Ene. 15. 1989 - Ene. 28. 1989 (14 días)	Ene. 29. 1989 - Feb. 17. 1989 (20 días)	
	Dic. 19. 1988 - Feb. 17. 1989 (61 días) ※desconocido en cuanto a fechas de montaje y desmontaje				
Sección de perforación	0.0~72.0m 0.0~1486.5m	72.0~310.5m	310.5~617.0m	617.0~1486.5m	
Diámetro de pozo	24"	17-1/2"	12-1/4"	8-1/2"	
Programa de tubería de revestimiento	Conductor 20"CSG (K55,94lb/ ft) 69.5m	Superficie 13-3/8"CSG (K55,54.5lb/ ft) 308.0m	Producción 9-5/8" CSG (K55,40lb/ ft) 606.0m	※pozo abierto	
Broca de uso principal	12-1/4" (※escariador 24")	17-1/2" 12-1/4" (※escariador 17-1/2")	12-1/4"	8-1/2"	
	Código IADC	637	111,114,131(637)	617, 637	627, 731
Circulación perdida	Situación	※Sin descripción	•210~310m →circulación perdida completa	•330~617m →circulación perdida completa	•895~905m →circulación perdida completa •920~1480m →circulación perdida completa
	Provisión	※Cementación	ninguna	ninguna	ninguna
Parámetro de perforación	Peso de broca	1~6t	5~14t	5~8t	7~8t
	Velocidad de rotación	60~80rpm	60~100rpm	60rpm	50~60rpm
	Tasa o velocidad de flujo	910~2860L/ min	780~2600L/ min	780~1690L/ min	780~1560L/ min
Tasa o velocidad de Penetración (ROP)		10.3m/ día	19.9m/ día	38.3m/ día	54.3m/ día
Fluido de perforación		Agua de lodo bentonita	Agua clarificada	Agua clarificada	Agua clarificada
Perforación direccional		Perforación vertical •72m; dirección 0°45'	Perforación vertical •210m; dirección 1°30' •310m; dirección 2°	Perforación vertical •320m; dirección 2°15' •610m; dirección 2°	Perforación vertical •990m; dirección 1° •1050m; dirección 2°
Organización principal		•Broca 12-1/4" × abridor de pozo 17-1/2" × abridor de pozo 24"	•Broca 17-1/2" × ENCHUFE (STAB) 17-1/2" (formación de retención de ángulo)	•Broca 12-1/4" × ENCHUFE (STAB) 12-1/4" × escariador de rodillo 12-1/4"	•Broca 8-1/2" (formación resbaladiza)
Problema		Sin descripción	reserva para almacenamiento de agua	reserva para almacenamiento de agua	※desconocido
Lodo de perforación	Bentonita; 55650 kg, Soda cáustica; 1950 kg, Cal; 1816kg				
Cemento (total)	Cemento clase G; 72100 kg, Cemento clase A; 7500 kg, Harina de sílice; 34450 kg Aditivos de cemento (R6); 30 kg				
Equipo de cabeza de pozo	※ninguno	•BOP anular 21-1/4"-2000 psi •Ángulo de compuerta 20"-600 lb •Cabeza de pozo 21-1/4"-2000 psi	•BOP anular 21-1/4"-2000 psi •BOP pistones en W13-3/8"-3000 psi •Ángulo de compuerta 13-5/8"-900 lb •Cabeza de pozo 13-5/8"-3000 psi	•BOP anular 21-1/4"-2000 psi •BOP pistones en W13-3/8"-3000 psi •Ángulo de compuerta 13-5/8"-900 lb •Cabeza de pozo 13-5/8"-3000 psi •Carrete o molinete adaptador 11"×13-5/8" •Carrete o moline de expansión 11"×13-5/8"	
	•Ángulo de compuerta 11"-900 lb × 2 nos, Ángulo de compuerta 3-1/8"-3000 psi × 2 nos				
Especificaciones de la máquina perforadora	•Plataforma; Massarenti7000 SP •Capacidad; 5" DP 3600 m •Elevación; 227t •Motor; caterpillar 3408TA (475HP) × 2 nos •Altura del mástil; 43m •Bomba de lodo; Massarenti7" x 8" (750HP) × 2 nos				
	Plataforma de clase 3000m				

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

**Cuadro 3-7 Resumen de los Datos de Perforación de SM – 3**

Rubros	Primera Etapa	Segunda Etapa	Tercera Etapa	Cuarta Etapa	Notas
Período	Abr. 21. 1989 - May. 4. 1989 (14 días)	May. 5. 1989 - May. 21. 1989 (17 días)	May. 22. 1989 - Jun. 15. 1989 (25 días)	Set. 20. 1989 - Oct. 5. 1989 (16 días)	※suspendido: Jun. 16. 1989 - Set. 19. 1989 (95 días)
	Abr. 21. 1989 - Oct. 5. 1989 (72 días) ※desconocido en cuanto a fechas de montaje y desmontaje				
Sección de perforación	0.0~63.0m	63.0~305.0m	305.0~736.0m	736.0~1406.0m	
	0.0~1406.0m				
Diámetro de pozo	24"	17-1/2"	12-1/4"	8-1/2"	
Programa de tubería de revestimiento	Conductor 20" CSG (H40,94lb/ ft) 58.0m	Superficie 13-3/8" CSG (K55,54.5lb/ ft) 298.0m	Producción 9-5/8" CSG (K55,40lb/ ft) 731.0m	※pozo abierto	
Broca de uso principal	12-1/4" (※escariador 24")	17-1/2" (※escariador en alguna parte)	12-1/4"	8-1/2"	
	Código IADC	231	311	231, 616	637
Circulación perdida	Situación	• 44~63m →circulación perdida completa	• 64.4~166m →circulación perdida completa • 166~305m →cantidad pequeña de circulación perdida	※Sin descripción	• 971m →cantidad pequeña de circulación perdida (8m3) • 977~1407m →circulación perdida
	Provisión	Cementación	Cementación	※Sin descripción	Ninguna
Parámetro de perforación	Peso de broca	1~5t	5~12t	11~12t	5~10t
	Velocidad de rotación	70~100rpm	60~70rpm	60rpm	50rpm
	Tasa o velocidad de flujo	780~1300L/ min	1300~1690L/ min	2000L/ min	780~1600L/ min
Tasa o velocidad de Penetración (ROP)	6.3m/ día	18.6m/ día	43.1m/ día	51.5m/ día	
Fluido de perforación	agua de lodo bentonita	agua de lodo bentonita	agua de lodo bentonita	agua de lodo bentonita	
Perforación direccional	Perforación vertical	Perforación vertical • 228m: dirección 3° 45' • 304m: dirección 2° 45'	Perforación vertical • 325m: dirección 3° • 465m: dirección 1° 15'	Perforación vertical • 980m: dirección 1° 30'	
Organización principal	• Broca 12-1/4" abridor de pozo ×17-1/2" × abridor de pozo 24"	• Broca 17-1/2" ×ENCHUFE (STAB) 17-1/2" (formación de ángulo de pozo)	• Broca 12-1/4" ×ENCHUFE (STAB) 12-1/4" (formación de ángulo de pozo)	• Broca 8-1/2" × escariador de rodillo 8-1/2" ×ENCHUFE (STAB) 8-1/2"	
Problema	Sin descripción	Sin descripción	Sin descripción	Suspendido por problemas de maquinaria (95 días)	
Lodo de perforación	Bentonita : 59470 kg, Soda cáustica : 1750 kg, CMC : 704 kg, Cal : 2550 kg				
Cemento (CSG)	• Cemento G : 9500 kg • Cemento A : 4000 kg • Harina de sílice : 4000 kg	• Cemento G : 26500 kg • Harina de sílice : 10600 kg	• Cemento G : 38800 kg • Harina de sílice : 15400 kg	Ninguno	
Cemento (total)	Cemento clase G : 76150 kg, Cemento clase A : 44250 kg, harina de sílice : 3000 kg Cloruro de calcio : 490 kg, Aditivos de cemento (R6) : 90 kg				
Equipo de cabeza de pozo	※Ninguno	• BOP anular 21-1/4" - 2000 psi • Ángulo de compuerta 20" - 600 lb • Cabeza de pozo 21-1/4" - 2000 psi	• BOP anular 21-1/4" - 2000 psi • BOP pisonos en W 13-3/8" - 3000 psi • Ángulo de compuerta 13-5/8" - 900 lb • Cabeza de pozo 13-5/8" - 3000 psi	• BOP anular 21-1/4" - 2000 psi • BOP pisonos en W 13-3/8" - 3000 psi • Ángulo de compuerta 13-5/8" - 900 lb • Cabeza de pozo 13-5/8" - 3000 psi	
	• Ángulo de compuerta 11" - 900 lb × 2 nos, Ángulo de compuerta 3-1/8" - 3000 psi × 2 nos				
Especificaciones de la máquina perforadora	• Plataforma : Massarenti 7000 SP • Capacidad : 5" DP 3600 m <sup>3</sup> /min • Elevación : 227t • Motor : caterpillar 3408 TA (475HP) × 2 nos • Altura de mástil : 43 m • Bomba de lodo : Massarenti 7" x 8" (750HP) × 2 nos				Plataforma de clase 3000m

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

**Cuadro 3-8 Resumen de los Datos de Perforación de SM – 4**

Rubros	Primera Etapa	Segunda Etapa	Tercera Etapa	Cuarta Etapa	Cuarta Etapa	Notas
Período	Nov. 1. 1989 - Nov. 6. 1989 (6 días)	Nov. 7. 1989 - Nov. 17. 1989 (11 días)	Nov. 18. 1989 - Nov. 30. 1989 (13 días)	Dic. 1. 1989 - Dic. 23. 1989 (23 días)	Nov. 28. 1991 - Dic. 16. 1991 (19 días)	
	Nov. 1. 1989 - Dic. 24. 1989 (54 días) ※desconocido en cuanto a fechas de montaje y desmontaje				72 días en total	
Sección de Perforación	0.0~61.0m	61.0~301.0m	301.0~687.0m	687.0~1474.0m	1474.0~1726.2m	
	0.0~1726.2m					
Diámetro de pozo	24"	17-1/2"	12-1/4"	8-1/2"	8-1/2"	
Programa de tubería de revestimiento	Conductor 20" CSG (X-52,91.5lb/ ft) 59.9m	Superficie 13-3/8" CSG • K55,54.5lb/ ft 0~238.7m • JE,61lb/ft 238.7~297.2m	Producción 9-5/8" CSG • K55,40lb/ ft 0~303.6m • N80,43.5lb/ ft 303.6~361.5m • K55,40lb/ ft 361.5~681.3m	※pozo abierto	Revestidor ranurado 7" CSG (N80,23lb/ ft) • Tubería ciega 672.0~1306.0m • Tubería con raja o hendedura 1306.0~1724.0m • colgador del revestidor 672.0m	
Broca de uso principal	17-1/2" (※escariador 24")	17-1/2"	12-1/4"	8-1/2"	8-1/2"	
	Código IADC	※desconocido	311	637, 231	637, 231	637
Circulación perdida	Situación	※desconocido	※desconocido	※desconocido	• 1300~1474m →circulación perdida completa	• 1510~1515m • 1535~1545m • 1546~1724m →circulación perdida completa
	Provisión	※Bajo investigación	※Bajo investigación	※Bajo investigación	Ninguna	Ninguna
Parámetro de perforación	Peso de broca	1~5t	12~15t	5~15t	9~15t	※sin descripción
	Velocidad de rotación	40~60rpm	70rpm	60~70rpm	50~70rpm	※sin descripción
	Tasa o velocidad de flujo	1400~2000L/ min	2300~3400L/ min	1200~2000L/ min	1300~1950L/ min	※sin descripción
Tasa o velocidad de Penetración (ROP)	15.3m/ día	48.0m/ día	48.3m/ día	34.2m/ día	※desconocido	
Fluido de perforación	Agua de lodo bentonita	Agua de lodo bentonita	Agua de lodo bentonita	Agua clarificada	※sin descripción	
Perforación direccional	Perforación vertical • 60m; dirección 1° 45'	Perforación vertical • 250m; dirección 0° 45'	Perforación vertical • 670m; dirección 2° 45'	※sin descripción	※sin descripción	
Organización principal	• Broca 12-1/4" × abridor de pozo 17-1/2" × abridor de pozo 24"	• Broca 17-1/2" × 17-1/2" STAB (formación de retención de ángulo)	• 12-1/4" Bit × 12-1/4" STAB (formación de retención de ángulo)	• 8-1/2" Bit × 8-1/2" STAB (formación de retención de ángulo)	※sin descripción	
Problema	※desconocido	※desconocido	※desconocido	Historia de pesca o salvamento ※desconocido	※sin descripción	
Lodo de perforación	Bentonita: 77750 kg, Soda cáustica: 2600 kg, Cal: 567 kg				※sin descripción	
Cemento (total)	Cemento clase G: 76750 kg, harina de sílice: 27300 kg				※sin descripción	
Equipo de cabeza de pozo	※ninguno	• BOP Anular 21-1/4"-2000 psi • Ángulo de compuerta 20"-600 lb • Cabeza de pozo 21-1/4"-2000 psi	• BOP Anular 21-1/4"-2000 psi • BOP pisones en W 13-3/8"-3000 psi • Ángulo de compuerta 13-5/8"-900 lb • cabeza de pozo 13-5/8"-3000 psi	• BOP Anular 21-1/4"-2000 psi • BOP pisones en W 13-3/8"-3000 psi • Ángulo de compuerta 13-5/8"-900 lb • cabeza de pozo 13-5/8"-3000 psi	※sin descripción	
	※desconocido					
Especificaciones de la máquina perforadora	• Plataforma: Massarenti 7000SP • Capacidad: 5" DP 3600m • Elevación: 227t • Motor: caterpillar 3408TA (475HP) × 2 nos • Altura de mástil: 43m • Bomba de lodo: Massarenti 7" x 8" (750HP) × 2 nos					Plataforma de clase 3000m

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

**Cuadro 3-9 Resumen de los Datos de Perforación de SM – 5**

Rubros	Primera Etapa	Segunda Etapa	Tercera Etapa	Cuarta Etapa	Notas
Período	Abr. 3. 1992 - Abr. 12. 1992 (10 días)	Abr. 13. 1992 - Abr. 26. 1992 (14 días)	Abr. 27. 1992 - Oct. 15. 1992 (41 días)	Oct. 16. 1992 - Nov. 8. 1992 (24 días)	suspendido: Jun. 1. 1992 - Oct. 9. 1992 (131 días)
	Abr. 3. 1992 - Nov. 8. 1992 (89 días) ※desconocido en cuanto a fechas de montaje y desmontaje				
Sección de perforación	0.0~ alrededor de 70 m	alrededor de 70 m ~alrededor de 300 m	alrededor de 300 m ~alrededor de 900 m	alrededor de 900 m~1700 m	
	0.0~1705.0 m				
Diámetro de pozo	24"	17-1/2"	12-1/4"	8-1/2"	
Programa de tubería de revestimiento	Conductor 20" CSG 69.85m	Superficie 13-3/8" CSG alrededor de 300m	Producción 9-5/8" CSG 878.3m	※pozo abierto	
Broca de uso principal	17-1/2" (※escariador 26")	17-1/2"	12-1/4"	8-1/2"	
	Código IADC	※desconocido	※desconocido	637	637
Circulación perdida	Situación	※desconocido	※desconocido	※desconocido	※desconocido
	Provisión	※desconocido	※desconocido	※desconocido	※desconocido
Parámetro de perforación	Peso de broca	※desconocido	※desconocido	※desconocido	※desconocido
	Velocidad de rotación	※desconocido	※desconocido	※desconocido	※desconocido
	Tasa o velocidad de flujo	※desconocido	※desconocido	※desconocido	※desconocido
Tasa o velocidad de penetración (ROP)	※desconocido	※desconocido	※desconocido	※desconocido	
Fluido de perforación	Agua de lodo bentonita	Agua de lodo bentonita	Agua de lodo bentonita	Agua clarificada	
Perforación direccional	Perforación vertical	Perforación vertical	Perforación vertical	Perforación vertical	
Organización principal	※desconocida	※desconocida	※desconocida	※desconocida	
Problema	※desconocido	※desconocido	※desconocido	※desconocido	
Lodo de perforación	※desconocido				
Cemento (total)	※desconocido				
Equipo de cabeza de pozo	※ninguno	※desconocido	※desconocido	※desconocido	
	※desconocido				
Especificaciones de la máquina perforadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plataforma : Massarenti7000SP</li> <li>• Capacidad : 5" DP 3600m</li> <li>• Elevación : 227t</li> <li>• Motor : caterpillar 3408TA(475HP)× 2 nos</li> <li>• Altura de mástil : 43m</li> <li>• Bomba de lodo : Massarenti 7" x8" (750HP) × 2 nos</li> </ul>				Plataforma de clase 3000m

Fuente: Equipo de Estudio de JICA



**Cuadro 3-10 Resumen de Todos los Datos de Perforación**

Rubros	Nombre del Pozo				
	SM-1	SM-2	SM-3	SM-4	SM-5
Profundidad de perforación	1178.5 m	1486.5 m	1406.0 m	1726.2 m ※ampliación 1474.0 - 1726.2	1705.0 m
Período de trabajo	Set. 8. 1988 - Nov. 15. 1988 (70 días)	Dic. 19. 1988 - Feb. 17. 1989 (61 días)	Abr. 21. 1989 - Oct. 5. 1989 (72 días) ※Jun. 16. 1989 - Set. 19. 1989 (95 días) suspendido	Nov. 1. 1989 - Dic. 24. 1989 (53 días) Nov. 28. 1991 - Dic. 16. 1991 (19 días) ※72 días en total	Abr. 3. 1992 - Nov. 8. 1992 (89 días) ※Jun. 1. 1992 - Oct. 9. 1992 (131 días) suspendido
Diámetro de fondo de pozo	8-1/2" (culminación de pozo abierto)	8-1/2" (culminación de pozo abierto)	8-1/2" (culminación de pozo abierto)	7" tubería de revestimiento ※tubería con raja o hendedura aparte	8-1/2" (culminación de pozo abierto)
Tipo de pozo	Pozo vertical	Pozo vertical	Pozo vertical	Pozo vertical	Pozo vertical
Circulación perdida	※Se desconoce los detalles	※Se desconoce los detalles	※Se desconoce los detalles	※Se desconoce los detalles	※Se desconoce los detalles
Problema hacia abajo	Exhubación de la tubería de revestimiento	reserva para el almacenamiento de agua ※Bajo investigación	※Se desconoce los detalles	evidencia de historia de pesca o salvamento ※Se desconoce los detalles	※Se desconoce los detalles
Anotación especial	Luego de perforar la primera sección, el trabajo de la tubería de revestimiento tomó una semana ( parece tres veces el trabajo de exhubación)	Nada en particular	Nada en particular	Nada en particular	Nada en particular
Producción	Sí	Sí	Sí	No	Sí

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

### 3.1.4 Pruebas de Producción

Se han realizado tres pruebas de producción en el sitio del Proyecto, según se describe a continuación. Los resultados de las pruebas de producción se muestran en el Cuadro 26 2.

- Primeras pruebas de producción (1987ó1990)
- Segundas pruebas de producción (mayo ó agosto 1997)
- Terceras pruebas de producción (diciembre 2012ó abril 2013)

#### (1) Primeras Pruebas de Producción (diciembre)

Los resultados de las primeras pruebas de producción y las pruebas de inyectividad que se llevaron a cabo entre 1987 y 1990 se resumen en Di et al. (1990), según se muestra en el Cuadro 3ó 11. Sin embargo, cualquier otra información acerca de las pruebas no estuvo disponible en este estudio. Se realizaron pruebas de producción y pruebas de inyectividad en cinco pozos (SMó 1, SMó 2, SMó 3, SMó 4 y APó 1). Se midieron los siguientes parámetros durante las pruebas: la temperatura alrededor de los pozos, la presión de cabezal del pozo, la entalpía específica del fluido de producción, la tasa o velocidad de flujo total, la calidad del vapor y el índice de inyectividad.

- La temperatura medida de reservorio de todos los pozos fue de 250 ó 260 °C.
- Las entalpías específicas del fluido de producción de SMó 1, SMó 2 y APó 1 fueron 1,050 kJ/ kg, 1,050 kJ/ kg y 1,400 kJ/ kg, respectivamente.
- El caudal total durante las pruebas de producción para SMó 1, SMó 2 y SMó 3 se estimó en 290 t/ h a 350 t/ h, mientras que para APó 1 solo se estimó en unos 30 t/ h. Los resultados de la prueba de producción de SMó 1 se muestran en el Apéndice 2.
- La calidad del vapor de SMó 1 y SMó 2 fue del 20%.
- Los índices de inyectividad de SMó 1, SMó 2 y SMó 3 fueron de uno a dos órdenes de magnitud mayores que los de SMó 4 y APó 1.

- La productividad de SMó 1 fue muy fuerte (JETRO 2008).

La presión de pozo de SMó 1 y SMó 3 se midió de manera continua durante las pruebas de producción de SMó 2 entre 1989 y 1990. Sin embargo, la calidad de los datos obtenidos no fue muy buena (Cuadro 3ó 14, Fuente: JICA 2013).

**Cuadro 3-11 Resumen de la 1ra. Prueba de Producción**

Pozo	Temperatura del Reservorio, °C	Presión máxima de cabeza de pozo, bar A	Entalpía Específica, kJ/ kg	Flujo máximo de producción (total), t/ h	Ratio Gas/ Líquido a 7 bar A	Índice de inyektividad, (m <sup>3</sup> / h)/ bar	Notas	Puntos no claros
SM-1	250	16	1,050	350	20%	90	Ya que la cantidad de producción ha excedido la capacidad del separador (si se fijara en baja la presión de la cabeza de pozo), la medición se realizó encima del chorro (JETRO, 2008).	No se describe datos en la fuente.
SM-2	250	16	1,050	350	20%	80		
SM-3	250	16*	N/A	290*	N/A	23	-	
SM-4	250	N/A	N/A	N/A	N/A	1	-	
AP-1	260	4	1,400	30	-	2	-	

\*: Deducido, N/A: no disponible

Fuente: Di, Luccioli y Rico (1990)

**Cuadro 3-12 Resumen de la 2da. Prueba de Producción**

Pozo	Temperatura del Reservorio, °C	Presión máxima de cabeza de pozo, bar A	Entalpía Específica, kJ/ kg	Flujo máximo de producción (total), t/ h	Ratio Gas/ Líquido a 7 bar A	Índice de inyektividad, (m <sup>3</sup> / h)/ bar	Notas	Puntos no claros
SM-2	May. 1997 - Ago. 1997	0.8 - 1.3 MPaG	1,050	80 -255	70 -220	10 -40	Considerando los resultados de los registros de temperatura y presión, se ha llevado a cabo un análisis de concordancia o encaje con el simulador de pozo "WELLFLOW". Los aspectos deducidos se muestran a continuación. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad de caudal afluyente del fluido geotérmico: 1400 m</li> <li>• Fase de caudal afluyente del fluido geotérmico: líquido (fase única)</li> <li>• Cambio de fase en el fluido geotérmico a la fase gas- líquido (fase 2) a una profundidad de alrededor de 1,000 m por flash.</li> <li>• kh (permeabilidad × espesor del acuífero) alrededor del SM-2 es de 100 darcy- m.</li> </ul>	La evidencia de la profundidad del punto de alimentación que se ha establecido en el análisis de concordancia o encaje.
SM-5	May. 1997 - Ago. 1997	0.9 - 1.3 MPaG	1,050	105 - 220	95 -190	10 -35	Los resultados de la prueba de edificación son según se muestra a continuación (Delgadillo y Puente, 1998). <ul style="list-style-type: none"> <li>• kh: 130 darcy- m</li> <li>• Coeficiente de almacenamiento ch: 2.9E-9 m/ Pa.</li> </ul> Considerando los resultados de los registros de temperatura y presión, se ha llevado a cabo un análisis de concordancia o encaje con el simulador de pozo "WELLFLOW". Los aspectos deducidos se muestran a continuación. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad de caudal afluyente del fluido geotérmico: 1400 m</li> <li>• Fase de caudal afluyente del fluido geotérmico: líquido (fase única)</li> <li>• Cambio de fase en el fluido geotérmico a la fase gas- líquido (fase 2) a una profundidad de alrededor de 1,000 m por flash.</li> <li>• kh alrededor del SM-2 es de 100 darcy-m.</li> </ul>	

Fuente: JETRO (2008) y Delgadillo y Puente (1998)

**Cuadro 3-13 Resumen de la 3ra. Prueba de Producción**

Pozo	Duración	Presión de cabeza de pozo, bar A	Valor de medición TFT				Notas	Puntos no claros
			Entalpía específica, kJ/ kg	Flujo máximo de producción (total), t/ h	Flujo (agua caliente), t/ h	Flujo (Vapor), t/ h		
SM-1	Dic. 11. 2012 - Ene. 5. 2013	10.73 - 15.04	1,064.9 - 1,147.9	42.8 - 285.5	30.5 - 234.7	12.3 - 50.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las características de la producción están conformes con los resultados existentes de la prueba de producción.</li> <li>A partir del resultado del análisis de la prueba de producción, kh alrededor del SM-1 es 100 darcy- m.</li> </ul>	La evidencia de la profundidad del punto de alimentación que se ha establecido en el análisis
SM-3	Ene. 22. 2013 - Feb. 20. 2013	8.90 - 13.53	1,022.4 - 1,150	35 - 257.6	26.1 - 215.0	5 - 42.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ésta es la producción exitosa por primera vez.</li> <li>A partir del resultado del análisis de la prueba de producción, kh alrededor del SM-3 es 50 darcy- m.</li> </ul>	
SM-2	Abr. 4. 2013 - Abr. 28. 2013	9.59 - 14.44	1,072.5 - 1,144.7	40.6 - 280.4	29.8 - 226.2	10.8 - 54.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las características de la producción están conformes con los resultados existentes de la prueba de producción.</li> <li>A partir del resultado del análisis de la prueba de producción, kh alrededor del SM-2 es 100 darcy- m.</li> </ul>	

Fuente: JICA (2013)

**Cuadro 3-14 Resumen del Monitoreo de la Presión del Pozo Exploratorio Durante la 1ra. y la 2da. Prueba de Producción**

Pozo de observación	Pozo de Producción	Duración	Notas	Puntos no claro
SM-1, SM-3	Prueba de producción SM-2	1989-1990	No se pudo obtener buenos datos esta vez.	No se describe datos en la fuente.
SM-1, SM-3	Prueba de producción SM-2, SM-5 (una parte del agua caliente de producción se reinyectó a SM-4)	May. 1997 - Ago. 1997	-	No es clara la duración exacta de SM-2 y SM-5 en la prueba de producción. Y no se puede evaluar el grado de interferencia entre SM-1 y SM-2.

Fuente: JICA (2013)

**Cuadro 3-15 Resumen del Monitoreo de la Presión del Pozo Exploratorio Durante la 3ra. Prueba de Producción**

Pozo de observación	Pozo de Producción	Duración	Notas	Puntos no claro
SM-3	Prueba de producción SM-1	Dic. 11. 2012 - Ene. 5. 2013	La interferencia alrededor de los pozos de producción es pequeña	-
SM-1	Prueba de producción SM-3	Ene. 22. 2013 - Feb. 20. 2013		-
SM-1, SM-3	Prueba de producción SM-2	Abr. 4. 2013 - Abr. 28. 2013		La presión del pozo SM-1 parece reducirse durante la prueba de producción de SM -2 (Apéndice -2, AP2-18).

Fuente: JICA (2013)

## (2) Segundas Pruebas de Producción (mayo– agosto 1997)

Los resultados de las pruebas de producción que se llevaron a cabo entre mayo y agosto 1997 se resumen en el Cuadro 36 12 (JETRO 2008). En las pruebas de producción de los pozos SMó 2 y SMó 5, se midió la presión de cabezal del pozo, la entalpía específica del fluido de producción y la tasa o velocidad de flujo total. Parte de la salmuera producida en las pruebas de producción se reinyectó al SMó 4. También se llevó a cabo la prueba de  $\delta$ Build up en el SMó 5 y los datos obtenidos se utilizaron para estimar un parámetro termo-hidráulico, el valor de permeabilidad (kh) para la evaluación del reservorio geotérmico alrededor de SMó 5 (Delgadillo y Puente, 1998).

- El máximo caudal en los pozos SMó 2 y SMó 5 fue de 255 t/h y 220 t/h respectivamente. El caudal de vapor máximo de los pozos SMó 2 y SMó 5 fue de 40 t/h y 35 t/h respectivamente. La compilación de los resultados de las pruebas de producción de SMó 2 y SMó 5 aparece en el Apéndice 2.
- Las entalpías específicas del fluido de producción de SMó 2 y SMó 5 fueron de 1,050 kJ/kg.
- Basados en los resultados de la prueba de  $\delta$ Build up, el kh y el coeficiente de almacenamiento del reservorio alrededor del pozo SMó 5 se estimaron en 130 darcyó m y  $2.9 \times 10^{-9}$  m/Pa, respectivamente.

Sobre la base de los resultados de las pruebas de producción y el registro de temperatura y presión de SMó 2 y SMó 5, se realizó la simulación numérica por medio del uso del software  $\delta$ WELLFLOW, a fin de estimar los parámetros del reservorio, según se describe a continuación.

### (a) SMó 2

- Fluido geotérmico (agua líquida) de aproximadamente 250 °C fluyó en el pozo a una profundidad aproximada de 1,400 m.
- A una profundidad aproximada de 1,000 m, el agua cambió de estado líquido a una condición en dos fases.
- Los valores kh alrededor de SMó 2 fueron muy elevados, estimándose en 100 darcyó m.

### (b) SMó 5

- Fluido geotérmico (agua líquida) de aproximadamente 250 °C fluyó en el pozo a una profundidad aproximada de 1,700 m.
- A una profundidad aproximada de 1,000 m, el agua cambió de estado líquido a una condición en dos fases.
- Los valores kh alrededor de SMó 5 fueron muy elevados, estimándose en 20 darcyó m.
- Debe tomarse nota que las fuentes de alimentación para el análisis correspondiente no estaban disponibles.

Se midió la presión de los pozos SMó 1 y SMó 3 (Cuadro 36 14; JICA 2013). Los cambios en la presión de pozo, la entalpía específica del fluido de producción de SMó 2 y SMó 3 y los resultados de la simulación numérica se muestran en el Apéndice 2.

Debe tomarse nota que no existe una descripción detallada acerca de la duración de las pruebas de producción llevadas a cabo en los pozos SMó 2 y SMó 5 en el informe existente y en consecuencia, las inferencias entre estos pozos y otros pozos, SMó 1 o SMó 3, todavía permanecen siendo no tan claras.

Los resultados de las pruebas de pozos, tanto bajo condiciones estáticas como de producción, se resumen en el Cuadro 3ó 16 (JETRO 2008). La compilación de los perfiles de temperatura a presión en condiciones estáticas aparece en el Apéndice 2.

- La temperatura alrededor de los pozos (SMó 1, SMó 2, SMó 3 y APó 1), a excepción de SMó 4, alcanzó los 240 ó 250 °C, mientras que la temperatura máxima de SMó 4 fue de alrededor de 220 °C.
- Los perfiles de presión de todos los pozos bajo condiciones estáticas fueron casi los mismos, lo cual indica que un sistema de presión podría controlar el reservorio geotérmico alrededor de todos los pozos.

### (3) Terceras Pruebas de Producción (diciembre del 2012 – abril del 2013)

Los resultados de las pruebas de producción que se llevaron a cabo entre diciembre del 2012 y abril del 2013 se resumen en el Cuadro 3ó 16 y sus cifras aparecen compiladas en el Apéndice 2. Se realizaron pruebas de producción en los pozos SMó 1, SMó 2 y SMó 3, en las que se midió la presión de cabezal de pozo, la entalpía específica del fluido de producción y el caudal total.

- El caudal máximo de los pozos se encontró en el rango de de 255 t/h a 285 t/h y el caudal de vapor máximo fue de 40 t/h a 55 t/h.
- Las entalpías específicas máximas del fluido de producción fueron de aproximadamente 1,150 kJ/kg en SMó 1, SMó 2 y SMó 3.
- Los resultados de la prueba de producción de SMó 1 y SMó 2 fueron similares a los datos de las pruebas de producción anteriores (unos 25 años antes con respecto a los datos en SMó 1 y unos 15 años antes a los datos en SMó 2).

Basados en las pruebas de producción, se estimó los valores de kh alrededor de estos tres pozos. La compilación de los resultados de las pruebas de producción aparece en el Apéndice 2. Los valores de kh alrededor de SMó 1, SMó 2 y SMó 3 fueron muy elevados, estimándose en 100 darcyó m, 100 darcyó m y 50 darcyó m, respectivamente.

Debe tomarse nota que los siguientes aspectos no están claros en los informes de las pruebas de producción:

- Los puntos de alimentación de las fuentes profundas para el análisis respectivo.
- En el análisis, Los puntos de alimentación de las fuentes profundas del pozo SMó 2 se fijó en 1,400 m. sin embargo, todas las secciones debajo de la profundidad de 1,260 m fueron taponeadas, de acuerdo con las cifras de las pruebas de pozo que se muestran en el Apéndice 2.

Durante las pruebas de producción, se midió la presión de pozo en SMó 1 y SMó 3, según se muestra en el Cuadro 3ó 15. La compilación de los cambios de esta presión, de la entalpía específica del fluido de producción y los resultados de la simulación numérica de reservorio aparecen en el Apéndice 2. El informe de JICA (2013) concluyó que los efectos de interacción entre los tres pozos (SMó 1, SMó 2 y SMó 3) eran bajos. Sin embargo, probablemente la presión de SMó 1 se redujo ligeramente durante las pruebas de producción de SMó 2, lo cual podría indicar algún efecto de interacción entre SMó 1 y SMó 2.

Los resultados de las mediciones en los pozos durante las pruebas de producción o inyección se resumen en el Cuadro 3ó 17. La compilación de sus perfiles aparece en el Apéndice 2. No hubo pruebas de pozo a SMó 5 debido a problemas de incrustación de hidrógenoócarbonato de calcio.

- La temperatura alrededor de los pozos (SMó 1, SMó 2 y SMó 3) a excepción de SMó 4, alcanzó los 236 ó 250 °C, mientras que la temperatura máxima de SMó 4 fue de 224 °C (la temperatura de SMó 2 fue de 236 °C. Sin embargo, la causa de la temperatura relativamente baja podría ser el agua inyectada).

- Los perfiles de presión de todos los pozos bajo condiciones estáticas eran casi iguales, lo cual indica que un sistema de presión podría controlar al reservorio geotérmico alrededor de todos los pozos.
- Según los resultados de las pruebas de inyección de SMó 4, el caudal más grande posible de agua de inyección se estimó en 600 m<sup>3</sup>/ h o más, bajo las condiciones atmosféricas.

**Cuadro 3-16 Resumen de Pruebas de Pozos Durante la 1ra. y 2da. Prueba de Producción**

Pozo	Tipo	Estado de pozo	Fecha	Profundidad	Nivel del agua, m	Profundidad de flashing, m	Presión de cabeza de pozo, bar A	Temperatura más elevada	Presión más elevada
SM-1	PT	Estático	1997/5/5	3,700 m.s.n.m	4,000 m.s.n.m	-	26	248°C a 3,700m.s.n.m	55 bar a 3,700m.s.n.m
SM-2	PT	Estático	1997/5/2	3,650 m.s.n.m	4,150 m.s.n.m	-	18	243°C a 3,650m.s.n.m	57 bar a 3,650m.s.n.m
SM-2	PT	Dinámico	1997	1,250 m	-	Alrededor de 1,000m	12	250°C a 1,250m	60 bar a 1,250m
SM-3	PT	Estático	1997/5/8	3,500 m.s.n.m	4,300 m.s.n.m	-	2	245°C a 3,500m.s.n.m	65 bar a 3,500m.s.n.m
SM-4	PT	Estático	1997/5/3	3,100 m.s.n.m	menos profundo que 4,250 m.s.n.m	-	N/A	220°C a 3,100m.s.n.m	97 bar a 3,100m.s.n.m
SM-5	PT	Estático	1997/5/1	3,200 m.s.n.m	4,300 m.s.n.m	-	2	248°C a 3,200m.s.n.m	93 bar a 3,200m.s.n.m
SM-5	PT	Dinámico	1997	1,700 m	-	Alrededor de 1,000m	12	250°C a 1,700m	90 bar a 1,700m
AP-1	T	Estático	1988/5/13, 1988/5/9	3,380 m.s.n.m	N/A	-	N/A	245°C a 3,380m.s.n.m	-
AP-1	P	Estático	1988/4/11	3,630 m.s.n.m	Menos profundo que 4,180 m.s.n.m	-	N/A	-	55 bar a 3,630m.s.n.m

Nota: Se estimó los valores en el cuadro a partir de la lectura de escalas en la figura (Apéndice - 2), ya que los datos originales no estaban disponibles. Estos valores no son estrictamente precisos.

Fuente: JETRO (2008)

**Cuadro 3-17 Resumen de Pruebas de Pozos Durante la 3ra. Prueba de Producción**

Pozo	Tipo	Estado de pozo	Fecha	Profundidad	Nivel del agua, m	Profundidad de botaguas, m	Presión de cabeza de pozo, bar A	Temperatura más elevada	Presión más elevada	Notas
SM-1	PT	Estático	2012/12/5	984 m (colgado)	870	-	30	242°C a 984m	40 bar a 984m	-
SM-1	PTS	Dinámico (2" de orificio)	2012/12/17	984 m (colgado)	-	965	15	250°C a 984m	40 bar a 984m	-
SM-1	PTS	Dinámico (4" de orificio)	2012/12/21	984 m (colgado)	-	Más profundo que 984 m	15	250°C a 984m	40 bar a 984m	-
SM-1	PTS	Dinámico (6" de orificio)	2012/12/29	984 m (colgado)	-	Más profundo que 984 m	12	245°C a 984m	38 bar a 984m	-
SM-2	PT	Estático (luego de la inundación)	2013/3/3	1,105 m (colgado)	630	-	14	236°C a 910m	44 bar a 1,105m	-
SM-2	PTS	Dinámico (2" de orificio)	2013/4/12	1,170 m (colgado)	-	1,082	12	250°C a 1,170m	46 bar a 1,105m	-
SM-2	PTS	Dinámico (4" de orificio)	2013/4	1,260 m (colgado)	-	1,034	15	250°C a 1,260m	54 bar a 1,260m	-
SM-2	PTS	Dinámico (6" de orificio)	2013/4/18	1,260 m (colgado)	-	1,097	N/A	250°C a 1,260m	51 bar a 1,260m	-
SM-3	PT	Estático	2012/12/3	1,385 m (colgado)	535	-	2	247°C a 1,385m	70 bar a 1,385m	-
SM-3	PTS	Dinámico (2" de orificio)	2013/1/28	1,385 m (colgado)	-	1,000	12	247°C a 1,385m	70 bar a 1,385m	-
SM-3	PTS	Dinámico (4" de orificio)	2013/2/5	1,385 m (colgado)	-	1,000	12	247°C a 1,385m	68 bar a 1,385m	-
SM-3	PTS	Dinámico (6" de orificio)	2013/2/12	1,376 m (colgado)	-	1,000	11	247°C a 1,376m	67 bar a 1,376m	-
SM-3	PTS	Dinámico (8" de orificio)	2013/2/25	1,386 m (colgado)	-	1,040	12	247°C a 1,386m	64 bar a 1,386m	-
SM-4	PT	Estático	2012/12/4	1,517.5 m (colgado)	550	-	0	224°C a 1,517.5m	84 bar a 1,517.5m	-
SM-4	PTS	En inundación (agua caliente de reinyección proveniente de SM-3; 2" de orificio) flujo de inundación 25 t/h	2013/1/28	1,645 m (colgado)	640	-	0	75°C a 1,645m	97 bar a 1,645m	A partir de la relación entre el flujo de inundación y la presión de pozo, se espera poder inyectar más de 600 m <sup>3</sup> /h de agua en SM-4.
SM-4	PTS	En inundación (agua caliente de reinyección proveniente de SM-3; 4" de orificio) flujo de inundación 95t/h	2013/2/3	1,645 m (colgado)	500?	-	0	77°C a 1,645m	106 bar a 1,645m	
SM-4	PTS	En inundación (agua caliente de reinyección proveniente de SM-3; 6" de orificio) flujo de inundación 142t/h	2013/2/13	1,645 m (colgado)	550?	-	0	80°C a 1,645m	108 bar a 1,645m	
SM-4	PTS	En inundación (agua caliente de reinyección proveniente de SM-3; 10" de orificio) flujo de inundación 182t/h	2013/2/17	1,645 m (colgado)	450?	-	0	80°C a 1,645m	108 bar a 1,645m	

Nota: Se estimó los valores en el cuadro a partir de la lectura de escalas en la figura (Apéndice - 2), ya que los datos originales no estaban disponibles. Estos valores no son estrictamente precisos.

Fuente: JICA (2013)



#### (4) Resumen de las Pruebas de Producción

##### (a) SMó 1

- Según la prueba de producción llevada a cabo entre diciembre del 2012 y enero del 2013, el caudal total máximo fue aproximadamente de 285 t/ h y el caudal de vapor máximo fue de alrededor de 50 t/h. La entalpía específica máxima del fluido de producción fue de aproximadamente 1,150 kJ/ kg. Estos valores fueron casi iguales a los de los resultados de la prueba de producción anterior de hace unos 25 años.
- Las paredes del pozo son estables y mantiene alta capacidad de productividad.
- Los valores kh alrededor de SMó 1 eran muy elevados, estimándose en 100 darcyó m.
- La temperatura máxima fue de 242 °C (diciembre del 2012), lo cual es casi igual a la temperatura medida 25 años atrás (aproximadamente 250 °C).

##### (b) SMó 2

- Según la prueba de producción llevada a cabo en abril del 2013, el caudal total máximo fue aproximadamente de 280 t/ h y el caudal total de vapor máximo fue de alrededor de 54 t/ h. La entalpía específica máxima del fluido de producción fue de aproximadamente 1,150 kJ/ kg. Estos valores fueron casi iguales a los de los resultados de la prueba de producción anterior de hace unos 15 años.
- Las paredes del pozo son estables y mantiene alta capacidad de productividad.
- La condición del pozo seguía siendo buena en el 2013.
- Los valores kh alrededor de SMó 2 eran muy elevados, estimándose en 100 darcyó m. Este valor es igual al de los resultados en las Segundas pruebas de producción (1997).
- Según la prueba realizada en marzo del 2013, la temperatura alrededor de SMó 2 fue de 236 °C. Sin embargo, la temperatura se encuentra relativamente baja y podría haber sido causada por el agua inyectada. La temperatura debe ser igual a la temperatura medida hace unos 15 años (243 °C).

##### (c) SMó 3

- Según la prueba de producción llevada a cabo entre enero y febrero del 2013, el caudal total máximo fue, aproximadamente, de 258 t/ h y el caudal de vapor máximo fue de alrededor de 43 t/ h. La entalpía específica máxima del fluido de producción fue de aproximadamente 1,150 kJ/ kg.
- La condición del pozo seguía siendo buena en el 2013.
- Los valores kh alrededor de SMó 3 eran muy elevados, estimándose en 50 darcyó m.
- La temperatura máxima fue de 247 °C (diciembre del 2012), la cual era casi igual a la temperatura medida 15 años atrás (aproximadamente de 245 °C).

##### (d) SMó 4

- Según la pruebas de producción llevadas a cabo en diciembre del 2012, la temperatura máxima fue de 224 °C (diciembre del 2012), la cual era más baja que la temperatura de los otros pozos (240 ó 250 °C).
- Casi igual a la temperatura que se registró hace unos 15 años (245 °C).
- Las discontinuidades hidráulicas entre SMó 4 y otros pozos fueron inferidas.
- Según los resultados de las pruebas de reinyección de SMó 4, el caudal más elevado posible de agua de reinyección se estimó en 600 m<sup>3</sup>/ h o más, bajo condiciones atmosféricas.

(e) SMó 5

- Según la prueba de producción llevada a cabo entre mayo y agosto de 1997, el caudal total máximo fue aproximadamente de 220 t/ h y el caudal de vapor máximo fue de alrededor de 35 t/ h. La entalpía específica máxima del fluido de producción fue de aproximadamente 1,150 kJ/ kg.
- Los valores kh alrededor de SMó 5 se estimaron en 130 darcyó m, basándose en los resultados de la prueba de òbuildó upö. Según las pruebas de producción, el valor kh se estimó en 20 darcyó m.
- La temperatura máxima del reservorio fue de 248 °C (mayo de 1997).

(f) APó 1

- Según la prueba de producción llevada a cabo entre 1987 ó 1990, la entalpía específica máxima del fluido de producción fue de aproximadamente 1,400 kJ/ kg. Sin embargo, el caudal total fue más bien pequeño, como de unos 30 t/ h.
- Aunque la temperatura era alta, la productividad de APó 1 fue baja.
- La temperatura máxima fue de 245 °C (mayo de 1997).

(g) Efectos de interacción entre pozos

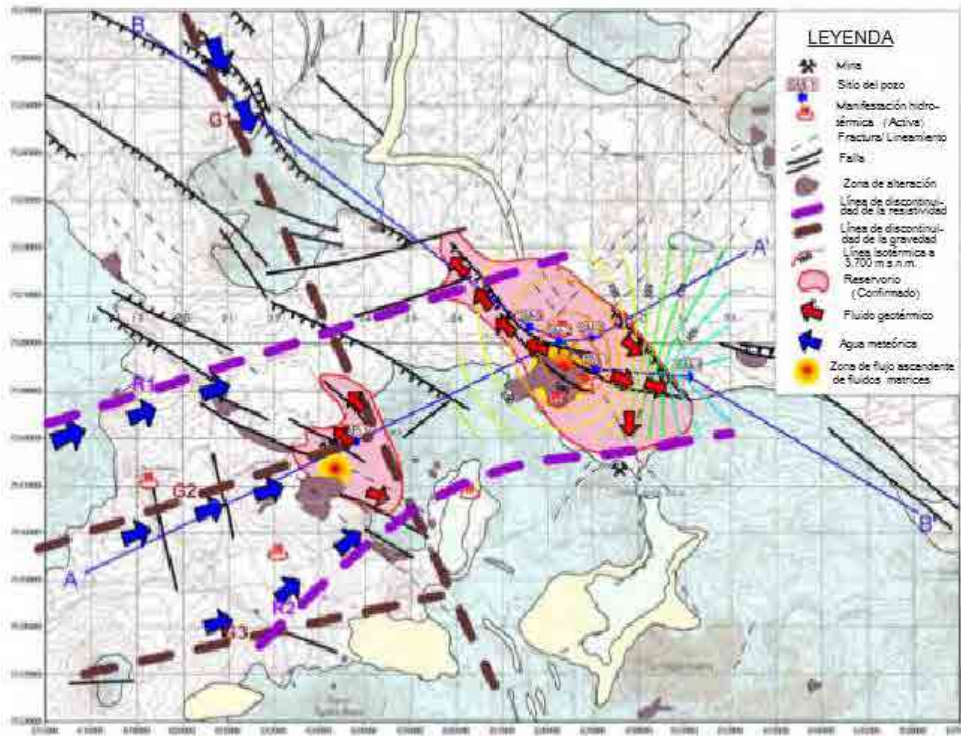
- El informe de JICA (2013) concluyó sobre los efectos de interacción entre tres pozos (SMó 1, SMó 2 y SMó 3) basándose en los resultados de las mediciones de presión en las pruebas de producción.
- Sin embargo, es probable que la presión de SMó 1 haya disminuido ligeramente durante las pruebas de producción de SMó 2, lo cual podría indicar algún efecto de interacción entre SMó 1 y SMó 2.

## 3.2 Evaluación de los Objetivos de Perforación

### 3.2.1 Verificación del Modelo Conceptual Propuesto para el Sistema Geotérmico

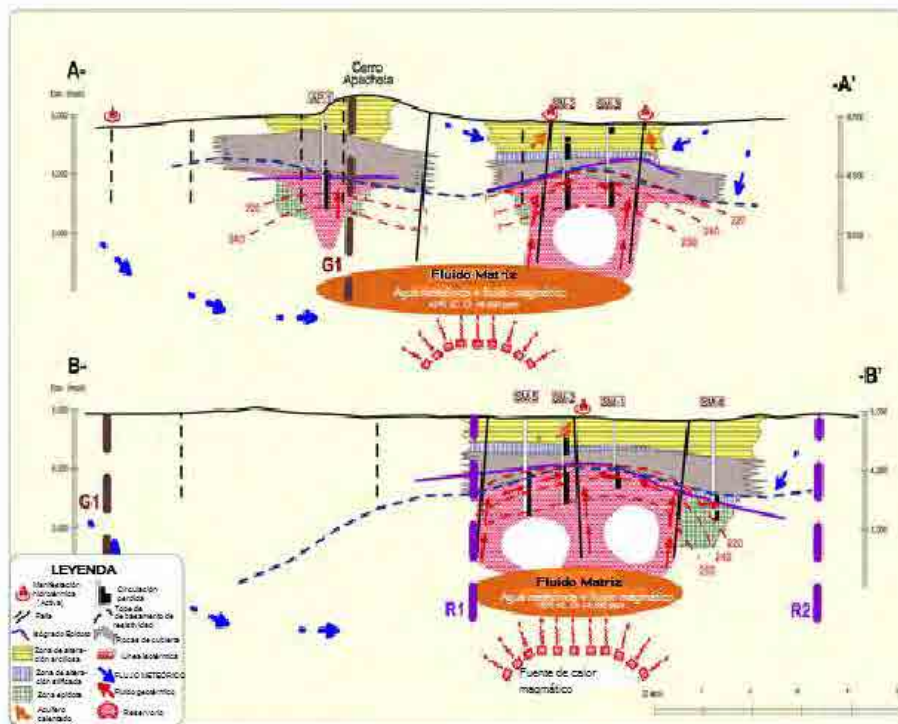
A fin de evaluar los objetivos de perforación, en esta sección se verifica el modelo conceptual propuesto del sistema geotérmico de Laguna Colorada. El modelo conceptual que se verifica es el que se propone en el JETRO (2008). Para propósitos de la verificación, también se consulta JICA (2010, 2013). El modelo conceptual se muestra en la Figura 3ó 21 (vista en planta) y la Figura 3ó 22 (sección transversal) y el modelo hidráulicoó geoquímico se muestra en la Figura 3ó 23.

Cada uno de los tres factores principales que comprenden el modelo geotérmico, a saber, la estructura de reservorio, la fuente de calor y el fluido geotérmico, se verifica de manera individual. En la verificación se resume la adecuada interpretación y se extrae la información adicional proveniente de los informes referidos, según se muestra en el Cuadro 3ó 18.



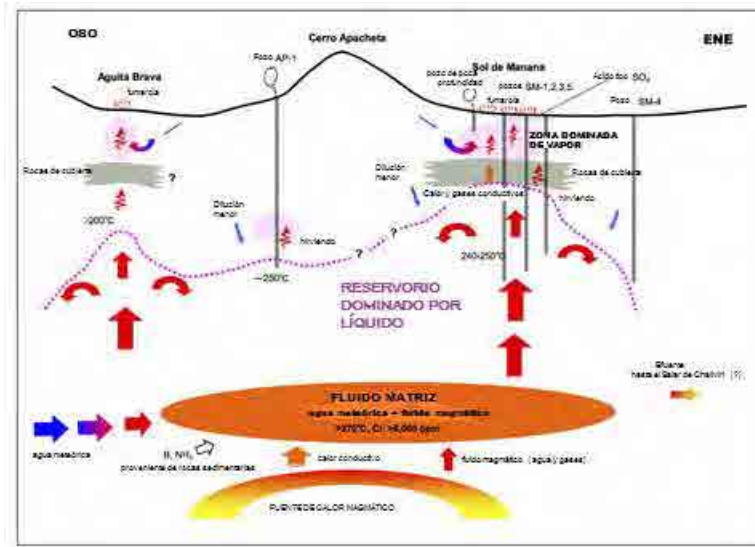
Fuente: JICA (2010)

Figura 3– 21 Modelo Conceptual del Reservorio Geotérmico de Laguna Colorada (vista en planta)



Fuente: JICA (2010)

Figura 3– 22 Modelo Conceptual del Reservorio Geotérmico de Laguna Colorada (sección transversal)



Fuente: JICA (2010)

Figura 3– 23 Modelo Hidráulico– Geoquímico del Reservorio Geotérmico de Laguna Colorada

**Cuadro 3-18 Verificación del Modelo Conceptual para el Reservorio Geotérmico de Laguna Colorada**

Factor de Modelo	Componente	Función del Componente	Interpretación Apropriada en el Modelo Propuesto	Información Adicional de los Informes Existentes
1. Estructura del Reservorio	Falla	Control de flujo del fluido geotérmico	<p>(1) La resistividad aparente indica que los reservorios geotérmicos se distribuyen en una zona que abarca la discontinuidad de la resistividad R1 y R2, en otras palabras, en el reservorio Sol de Mañana y en el reservorio de Cerro Apacheta (la falda oeste).</p> <p>(2) La resistividad aparente indica que hay un solo reservorio en cada uno de los campos de Sol de Mañana y Cerro Apacheta (la falda oeste).</p> <p>(3) Observaciones de fallas, minerales de alteración, aparente resistividad y la geología de los pozos infieren que las fallas ONOó ESE parecen controlar el flujo y la distribución de fluido geotérmico en cada uno de los Campos de Sol de Mañana y Cerro Apacheta (la falda oeste).</p> <p>(4) La falla NOó SE ubicada entre los pozos SMó 1 y SMó 4 actúa como una barrera hidráulica.</p> <p>(5) La falla NEó SO es una falla normal con un buzamiento o tendencia hacia el oeste.</p>	<p>(1) Se puede esperar el desarrollo de fracturas altamente permeables debido a tres fallas que se encuentran muy juntas una a la otra en el Campo de Sol de Mañana.</p> <p>(2) Debido a que las fallas ONOó ESE se inclinan hacia el suroeste, los pozos de producción que se dirigen hacia el suroeste deben tener suficiente desviación como para alcanzar las fallas. Sin embargo, el ángulo de las fallas no está claro. Aunque el ángulo es casi vertical en el modelo, la evidencia no se muestra.</p> <p>(3) Se determinó la estructura de la resistividad utilizando un método eléctrico (el método Schlumberger). Se puede estimar que la línea transversal puede ser de 1,000 m, indicando una relativamente poca profundidad del registro eléctrico realizado. Posiblemente, esta estructura de resistividad difiere de una estructura examinada por un registro electromagnético (registro magnetoteléxico, MT), el cual se llevó a cabo posteriormente.</p> <p>(4) Aunque las fallas NEó SO se mencionan en el modelo conceptual, éstas son menos importantes debido a que se encuentran ubicadas fuera del reservorio.</p>
	Capa de Roca Sello y profundidad del reservorio	Controla el flujo del fluido geotérmico en dirección de la profundidad	<p>(1) La resistividad aparente indica que existe una sola capa de rocas sello en cada Campo de Sol de Mañana y Cerro Apacheta (la falda oeste).</p> <p>(2) Las observaciones de los minerales de alteración (zona de arcilla y zona silificada), la pérdida de circulación, la pérdida de núcleo indica que la profundidad desde la superficie hasta unos 800 m se puede reconocer como capa de rocas sello debido a la poca permeabilidad de la zona.</p> <p>(3) La profundidad por debajo de los 900 ó 1,000 m puede reconocerse como reservorio geotérmico debido a la alta permeabilidad de la zona.</p>	<p>(1) No es posible determinar con precisión la profundidad de las fracturas productivas que causan la pérdida de circulación debido a que el intervalo de profundidad de la perforación ciega (con pérdida total de circulación) parece ser largo tal como se menciona en los informes de perforación.</p>
	Temperatura	Refleja la distribución del fluido geotérmico de alta temperatura	<p>(1) Las mediciones en los pozos indica que la temperatura puede ser de 240° a 250° C, a excepción del pozo SMó 4.</p> <p>(2) La distribución de los minerales de alteración hidrotermal (wairakita, epidota y clorita) indica una temperatura por encima de los 200 °C.</p>	<p>(1) No se ha examinado directamente la temperatura en el subsuelo de una zona distante de las fallas ONOó ESE La temperatura podía ser relativamente baja dependiendo de la distancia desde las fallas, debido a que (A) el reservorio Sol de Mañana y el reservorio Cerro Apacheta (la falda oeste) parecen no ser continuos y (B) no existe manifestación geotérmica entre las zonas de Sol de Mañana y Cerro Apacheta.</p>
2. Fuente de calor		Suministra calor al sistema geotérmico	<p>(1) Se puede asumir una cámara magmática profundamente asentada relacionada con las actividades volcánicas del Cuaternario como una fuente de calor de este reservorio. La roca volcánica más joven es la andesita (0.35 a 50 Ma) que se distribuye alrededor del Cerro Apacheta. Los volcanes activos alrededor del área del estudio son el Cerro Deslinde, el Cerro Volcán, los Cerros del Tatio, y el Volcán Tatio en los Andes occidentales. Una gran cámara magmática que apoya a estos volcanes activos parece ser la que suministra calor en una gran área, incluyendo el reservorio de Laguna Colorada.</p>	Ninguna en particular
3. Fluido geotérmico	Origen del fluido geotérmico	Recarga el reservorio geotérmico	<p>(1) El principal origen del fluido geotérmico en este reservorio es el agua meteórica absorbida en las tierras altas del oeste y noroeste.</p>	Ninguna en particular

	Flujo del fluido geotérmico	Refleja el calor y el paso de flujo del fluido geotérmico	<p>(1) El agua meteórica penetra en las profundidades y fluye hacia el Este o Sureste, luego obtiene calor del magma.</p> <p>(2) De manera simultánea, el agua meteórica absorbe el agua magmática (agua andesítica) y los gases magmáticos, reacciona con la roca circundante y luego se convierte en agua clorurada neutra cuya temperatura se incrementa hasta 250 °C.</p> <p>(3) El fluido geotérmico fluye a lo largo de las fallas ONO6 ESE hacia el Noroeste. El fluido caliente parece ascender principalmente hacia los alrededores del pozo SM 61 (Sol de Mañana) y el pozo AP6 1 (Cerro Apacheta). Sin embargo, existe una barrera hidráulica (una falla en dirección NO) que evita que el fluido fluya entre los pozos SM6 1 y SM6 4.</p> <p>(4) El fluido geotérmico experimenta alguna dilución con aguas meteóricas. El fluido induce alteración hidrotermal de minerales y forma zonas de mineral arcilloso que actúa como una capa de roca sello.</p> <p>(5) El fluido geotérmico crea aguas termales, fumarolas y zonas de alteración superficiales.</p>	Ninguna en particular
--	-----------------------------	---	--	-----------------------

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

## (1) Estructura del Reservorio

En los informes referidos, la estructura del reservorio está construida en base a la interpretación de la geología superficial, falla/ lineamiento, alteración hidrotermal, manifestaciones geotérmicas, geología de los pozos y resistividad aparente. La distribución de las fallas, la profundidad de la capa de rocas y el reservorio potencial y la distribución de la temperatura del subsuelo se estimaron de manera apropiada y pueden utilizarse para la ubicación de los objetivos de perforación de pozos. Las condiciones para la ubicación de los pozos son las siguientes (ver también el Cuadro 3ó 18).

- Las fallas ONOó ESE parecen controlar el flujo y la distribución del fluido geotérmico en los reservorios de Sol de Mañana y Cerro Apacheta (la falda oeste).
- La falla NOó SE ubicada entre los pozos SMó 1 y SMó 4 actúa como una barrera hidráulica.
- La profundidad desde la superficie hasta unos 800 m se puede reconocer como capa sello de rocas debido a la baja permeabilidad de dicha zona. La profundidad por debajo de 900 a 1,000 m puede reconocerse como un reservorio geotérmico altamente permeable.
- Las mediciones en los pozos indican que la temperatura puede ser de 240° a 250 °C, a excepción del pozo SMó 4, cuya temperatura puede ser tan baja como 220 °C.

Adicionalmente a lo mencionada antes, se puede extraer la siguiente información de los informes referidos.

- Debido a que se tienen 3 fallas muy cercanas unas a otras en el Campo de Sol de Mañana, se espera que haya un desarrollo de fracturas altamente permeables.
- Debido a que las fallas ONOó ESE son fallas de tipo normal con un buzamiento/ tendencia hacia el Oeste, los pozos nuevos van a seguir el plano de la falla desde el punto de inicio planeado, por tanto posiblemente no alcance el plano de la falla. Por esta razón, los pozos deben tener una suficiente desviación que permita alcanzar el plano de la falla. Aunque el ángulo de las fallas es casi vertical en el modelo, no es evidente, lo cual crearía incertidumbre en cuanto al plan de perforación.
- No es posible determinar con precisión la profundidad de las fracturas productivas, debido a que a esa profundidad se tuvo perforación ciega (perforación con pérdida total de circulación). Para determinar la profundidad de las fracturas sería necesario realizar una investigación más precisa. Los datos de circulación perdida son información importante para las fracturas y los datos digitales de las pruebas PTS, si están disponibles, serán de utilidad para la evaluación de las fracturas.
- Debido a que los pozos existentes se perforaron a lo largo y cerca de las fallas ONOó ESE, no se ha medido directamente la temperatura en el subsuelo de una zona distante de estas fallas. La temperatura podría ser relativamente baja dependiendo de la distancia desde las fallas, debido a que (1) el reservorio Sol de Mañana y el reservorio Cerro Apacheta (la falda oeste) parecen no ser continuos y (2) no existe manifestación geotérmica entre las zonas de Sol de Mañana y Cerro Apacheta. A fin de evitar el riesgo de perforar una zona de tan baja temperatura, los objetivos deben establecerse cerca de las fallas ONOó ESE. Sin embargo, en tal caso, podría esperarse una interferencia de la producción, debido a una corta distancia entre los pozos de producción.
- Una condición en el modelado de la estructura de reservorio se basa en el resultado de un estudio de resistividad eléctrica (el método Schlumberger). Se puede estimar que la línea transversal es de 1,000 m, indicando una relativamente poca profundidad del registro, de allí la insuficiente interpretación en la estimación de la profundidad del reservorio. Para resolver este problema, se debe considerar los resultados de un

estudio electromagnético (estudio magnetotélúrico, MT), el cual se llevó a cabo individualmente.

## (2) Fuente de Calor

La fuente de calor se interpreta adecuadamente en base a las actividades volcánicas del Cuaternario. La roca volcánica más joven es la andesita (hace entre 0.35 y 50 Millones de años) que se distribuye alrededor del Cerro Apacheta. Los volcanes activos alrededor del área del estudio son el Cerro Deslinde, el Cerro Volcán, los Cerros del Tatio, y el Volcán Tatio en los Andes occidentales. Una gran cámara magmática que apoya a estos volcanes activos parece ser la que suministra calor en una gran área, incluyendo el Campo de Laguna Colorada.

## (3) Fluido Geotérmico

Debido a que el fluido geotérmico es un medio que transporta calor desde el reservorio geotérmico, el origen y el estado del fluido geotérmico debe interpretarse junto con la estructura del reservorio y la fuente de calor arriba mencionadas. En el modelo propuesto, se hace una interpretación válida para el agua meteórica como el origen del fluido geotérmico, el cual penetra a una profundidad y adquiere calor, y finalmente retorna a la superficie en un proceso de convección en el reservorio. Los objetivos de perforación se fijarán en el lugar donde el flujo del fluido geotérmico ocurra con la mayor probabilidad, de tal forma que las condiciones de dicho objetivo de perforación puedan extraerse del modelo conceptual, como sigue:

- El fluido caliente parece ascender principalmente hacia los alrededores del pozo SM ó 1 (Sol de Mañana) y el pozo APó 1 (Cerro Apacheta).
- El fluido geotérmico fluye a lo largo de las fallas ONOó ESE hacia el Noroeste. El fluido caliente en dirección OEO, manteniendo una alta temperatura, tiene el potencial del objetivo de perforación.
- Existe una barrera hidráulica (una falla en dirección NO) que evita que el fluido fluya entre los pozos SMó 1 y SMó 4.

### 3.2.2 Modelado Conceptual y Resultados de la Interpretación

El modelo conceptual existente se revisó basado en los resultados del reanálisis e integración de todos los datos disponibles. El análisis topográfico, los resultados de los pozos existentes, los estudios de gravedad (ENDE, 1986) y los estudios MT (CGG, 2013) ha revelado la distribución de las fallas. La distribución de las fallas y el reservorio potencial inferido por el análisis y el modelo conceptual revisado son mostrados en la Figura 3ó24 y la Figura 3ó 25, respectivamente. Las ubicaciones de las secciones de los modelos conceptuales se muestran en la Figura 3ó24

La reevaluación de la estructura geotérmica basada en los resultados del análisis de los mapas de resistividad 3D ha revelados la distribución detallada del sistema de fallas posiblemente controlando el flujo y distribución del fluido geotérmico y la profundidad de la capa sello de rocas y el potencial resrevorio.

El modelo conceptual revisado no es diferente del modelo existente preparado en JETRO (2008) en el concepto básico de la estructura geotérmica, fuente de calor y el reservorio geotérmico. El diseño conceptual existente de los pozos nuevos (el área de interés de perforación) es evaluado de manera razonable.

El resultado del reanálisis e integración de toda la información disponible y los mapas de resistividad 3D están descritos como sigue:

## (1) Estructura del Reservorio

### (a) Sistema de Fallas

- La mayoría de las fallas son en la dirección ONOóESE, y algunas son desplazadas por las fallas en la dirección NEóSO. Estas fallas parecen controlar el flujo y la



distribución del fluido geotérmico en el sitio del Proyecto.

- La información geomórfica, los mapas de resistividad 3D y la información de la perforación de los pozos indican mayormente que las fallas ONO6ESE deben ser fallas de tipo normal. La falla ONO6ESE del objetivo de perforación, distribuido al lado Oeste de los pozos existentes (SM61, SM62 y SM65) parece que se inclina hacia el Suroeste.
- El buzamiento o tendencia de las fallas de tipo normal fueron inferidas en los reportes previos. Sin embargo, no hay evidencias de observación geológica de fallas en afloramientos ni en los pozos existentes.
- De acuerdo con la información de las mediciones en los pozos, la temperatura puede ser 240 °C ó 250 °C, excepto en el pozo SM64 que muestra una temperatura tan baja como 220 °C. Una falla con dirección ONO ó ESE localizada entre los pozos SM61 y SM64 parece ser una barrera hidráulica, como se ha dicho antes.

(b) Capa de Roca Sello

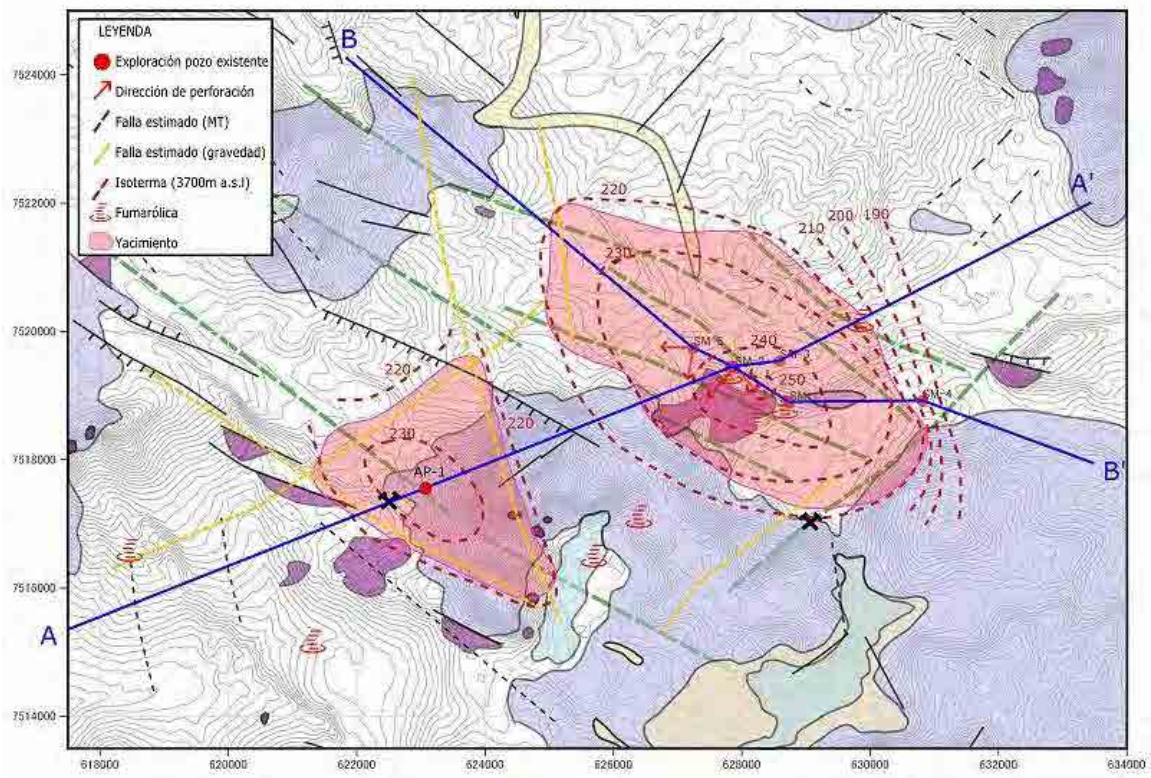
- La zona arcillosa y la parte superior de la zona silicea, las cuales son las secciones de baja permeabilidad en los pozos existentes, probablemente forman una capa de roca sello del reservorio geotérmico. La distribución de la capa de rocas sello corresponde a la zona de menos de 10 Ω m.
- La distribución de la zona de baja resistividad y los resultados de los pozos existentes ha revelado que desde la superficie hasta una profundidad de 800 m puede ser reconocido una capa de roca sello debido a la baja permeabilidad de esta parte. Las profundidades por debajo de los 900 a 1,000 m pueden reconocerse como reservorio geotérmico de alta permeabilidad.

(2) Fuente de Calor (No Ha Cambiado con Respecto a los Resultados del Reporte Previo)

- La fuente de calor está bien interpretada basados en las actividades volcánicas Cuaternarias. La roca volcánica más joven es la andesita (0.35 a 50 Ma) distribuidos alrededor del cerro Apacheta. Los volcanes activos alrededor del área de estudio son Cerro Deslinde, Cerro Volcán, Cerros del Tatio y Volcan el Tatio en los Andes occidentales.

(3) Fluido Geotérmico (No Ha Cambiado con Respecto a los Resultados del Reporte Previo (2010))

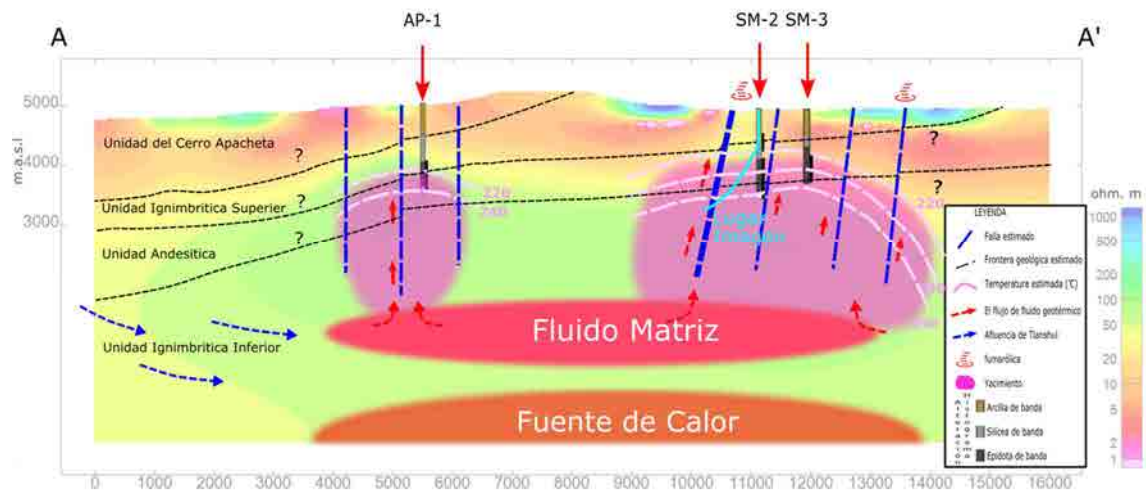
- La mayoría del fluido geotérmico puede ser originado del agua meterórica, la cual posiblemente penetra dentro hasta la profundidad donde se encuentran las rocas sedimentarias, mas bajo de los 1,700 m de profundidad y se calienta. Finalmente el fluido caliente ascendería principalmente en los alrededores de los pozos SM61 (Sol de Mañana) y AP61 (Cerro Apacheta).



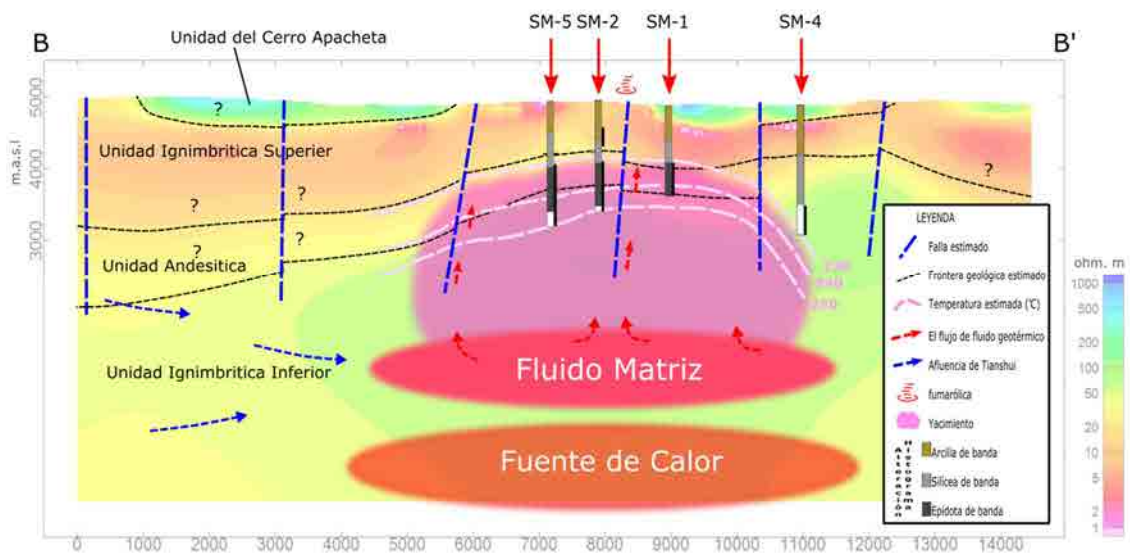
Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos Originales del Estudio MT: CGG (2013)

**Figura 3–24 Modelo Conceptual Revisado del Campo Geotérmico Laguna Colorada (Vista en Planta)**

1) Perfil A – A’



2) Perfil B–B’



Fuente: Equipo de Estudio de JICA, Datos Originales del Estudio MT: CGG (2013)

Figura 3–25 Modelo Conceptual Revisado del Campo Geotérmico Laguna Colorada (Sección Transversal)

3.2.3 Consideraciones Técnicas para la Perforación de Pozos

(1) Torre de Perforación y Equipos

(a) Capacidad de la Torre de Perforación

La capacidad de la Torre de perforación para los pozos SMó 1 a SMó 5 era de 950 HP, Clase 3000 m. Todos los pozos existentes fueron diseñados como pozos verticales con una profundidad en el rango de 1,170 m ó 1,726 m.

Se recomienda utilizar torres de perforación con una capacidad de 1500 HP para los nuevos pozos del Proyecto de Laguna Colorada, por las siguientes razones:

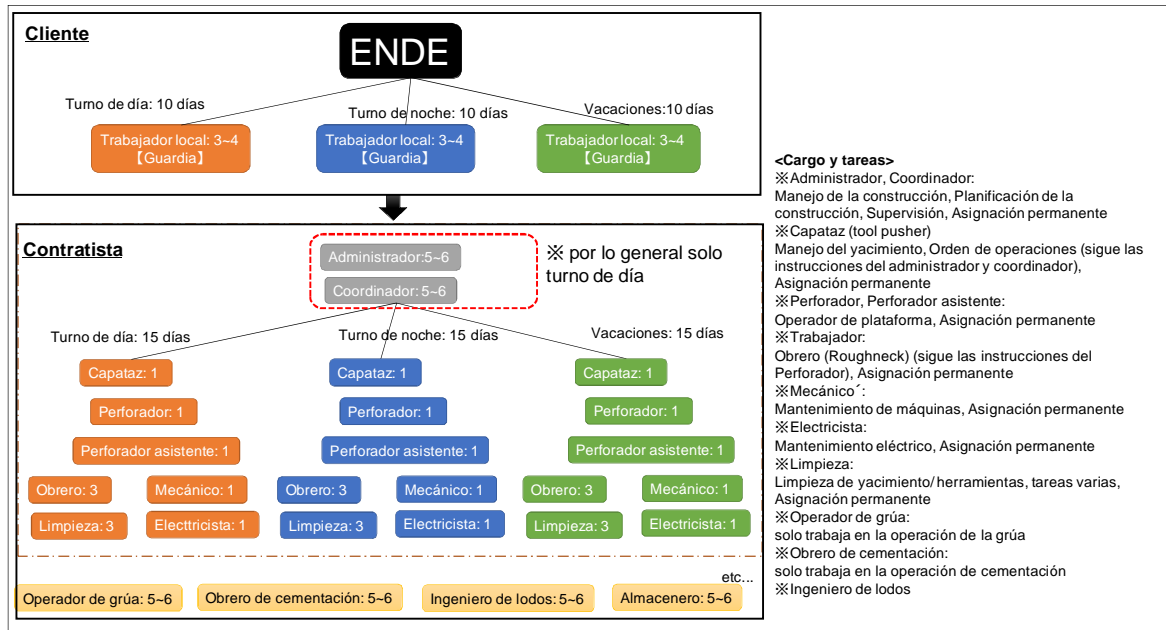
- En condiciones generales (área normal, buenas condiciones de roca, etc.), la capacidad de perforación de una torre de perforación de 1000 HP y una torre de perforación de 1500 HP es de aproximadamente 3,000 m y 4,000 m de profundidad, respectivamente. Sin embargo, el sitio del Proyecto está ubicado a grandes altitudes, de 5,000 m aproximadamente, en estas alturas la eficiencia de los motores se reducirá en un 30% ó 40%, debido al bajo nivel de oxígeno.
  - Se ha planificado que todos los pozos nuevos alcancen los 2,000 m o más, no de perforación vertical sino direccional. Para ello se requiere de una mayor capacidad de motores para poder cumplir con los requerimientos de estos nuevos pozos.
- (b) Otros Equipos Relacionados
- La eficiencia del generador y las bombas se reducirá en un 30% ó 40%, por lo tanto debe buscarse tener equipos dimensionados de forma que se considere esta pérdida de eficiencia para tener la seguridad que los equipos cumplirán con el requerimiento.
  - Todos los equipos deben estar acondicionados a climas extremos, tales como temperaturas muy bajas, vientos fuertes, etc., y se requiere que todas las máquinas trabajen sin complicaciones incluso en condiciones tales donde las temperaturas sean las más bajas (junio ó septiembre) en el sitio del Proyecto.
  - Es importante establecer un sistema de calefacción para evitar accidentes en los sistemas de bombeo y las tuberías, debido al agua congelada. De manera especial, el agua dulce para la perforación proveniente de pozos de poca profundidad se congelará en las tuberías sin el uso de aparatos/ implementos especiales, tales como válvulas de drenaje, alambre calentado eléctricamente a lo largo de las tuberías, tubería enterrada, etc.

## (2) Organización en el Sitio del Proyecto

Jamás se exagerará en cuanto a la importancia de la seguridad en el lugar de trabajo. Ésta se hará más palpable en aquellos sitios del Proyecto donde los trabajadores se ven expuestos a riesgos prolongados en sus actividades diarias, debido a que el sitio del Proyecto está ubicado en tierras altas y la temperatura en ocasiones desciende hasta por debajo de los 0°C.

Según las entrevistas con el personal de ENDE en el sitio, las perforaciones de los pozos SM6 1 a SM6 5 se llevaron a cabo según un cronograma de trabajo de 2 turnos y tres cuadrillas, según se muestra en la Figura 36 26.

Una cuadrilla de 3 a 4 miembros del cliente trabajó en ciclos de diez (10) días. Bajo el control de varios miembros del personal administrativo/ coordinador, once (11) miembros de una cuadrilla del contratista trabajó en ciclos de quince (15) días en el sitio del Proyecto.



Fuente: Equipo de Estudio de JICA

**Figura 3 –26 Organigrama Durante la Perforación de Pozos SM –1 a SM –5**

### (3) Cronograma de Perforación

El cronograma de perforación se ve significativamente afectado por la condición geológica (dureza de las rocas, pérdidas de circulación, etc.), las condiciones climáticas durante el trabajo de perforación y la viabilidad de trabajo debido a la elevada altitud. Para estimar el cronograma de perforación de los nuevos pozos, se deben considerar estos factores externos. Basados en los registros de perforación de los cinco pozos existentes en el sitio del Proyecto y los resultados de las entrevistas, se estimó el cronograma de perforación para los nuevos pozos.

#### (a) Período de Perforación Estimado para Nuevos Pozos

Ya que los pozos nuevos se encuentran ubicados cerca de los pozos existentes, los registros de perforación de los pozos ya existentes son buenas referencias para estimar un período de perforación de los nuevos pozos. Considerando las variaciones de la velocidad de perforación, debido al tamaño del diámetro de los pozos existentes, se dividió cada pozo existente en cuatro secciones de diámetro diferente. Se calculó el promedio de períodos (días) de perforación de un metro para cada sección, según se muestra en el Cuadro 3619.

Se estima los períodos de perforación promedio de un pozo de producción y un pozo de reinyección en 92 días y 71 días, respectivamente. El programa de tubería de revestimiento y los períodos de perforación estimados de un pozo de producción y un pozo de reinyección se resumen en el Cuadro 3619.

**Cuadro 3-19 Resumen de Registros de Perforación de los Pozos Existentes**

Item	NOMBRE DEL POZO				
	SM-1	SM-2	SM-3	SM-4	SM-5
Profundidad	1178.5m	1486.5m	1406.0m	1726.2m ※1474.0~1726.0m Perforación Adicional	1705.0m
Periodo ※No contiene movlizacion del equipo de perforación	70 día (Sep. 8, 1988 ~ Nov. 15, 1988)	61 días (Dec. 19, 1988 ~ Feb. 17, 1989)	72 días (Apr. 21, 1989 ~ Oct. 5, 1989) ※95 días (Jun. 16, 1989 ~ Sep. 19, 1989) feriado ingeniería	※Total 72 días 53 días (Nov. 1, 1989 ~ Dec. 24, 1989) 19 days (Nov. 28, 1991 ~ Dec. 16, 1991)	89 días (Apr. 3, 1992 ~ Nov. 8, 1992) ※131 days (Jun. 1, 1992 ~ Oct. 9, 1992) Feriado Ingeniería
Diámetro del Pozo	24"				26"
Sección de Perforación	0.0 ~ 75.0m ※75.0m	0.0 ~ 72.0m ※72.0m	0.0 ~ 63.0m ※63.0m	0.0 ~ 61.0m ※61.0m	0.0 ~ 70.0m ※70.0m
tamaño del tubo (conductor)	20"				
sección del tubo	0.0 ~ 69.0m ※69.0m	0.0 ~ 69.5m ※69.5m	0.0 ~ 58.0m ※58.0m	0.0 ~ 59.9m ※59.9m	0.0 ~ 69.85m ※69.85m
Periodo	13 días (Sep. 8, 1988 ~ Sep. 20, 1988)	10 días (Dec. 19, 1988 ~ Dec. 28, 1988)	14 días (Apr. 21, 1989 ~ May. 4, 1989)	6 días (Nov. 1, 1989 ~ Nov. 6, 1989)	10 días (Apr. 3, 1992 ~ Apr. 12, 1992)
día/m	0.173 día/m	0.139 día/m	0.222 día/m	0.098 día/m	0.143 día/m
<b>Promedio</b>	<b>0.155 día/m</b>				
Diámetro del Pozo	17-1/2"				
sección de Perforación (m)	75.0 ~ 307.0m ※232.0m	72.0 ~ 310.5m ※238.5m	63.0 ~ 305.0m ※242.0m	61.0 ~ 301.0m ※240.0m	70.0 ~ 300.0m ※230.0m
tamaño del tubo (superficie)	13-3/8"				
Sección del Tubo (m)	0.0 ~ 302.7m ※302.7m	0.0 ~ 308.0m ※308.0m	0.0 ~ 298.0m ※298.0m	0.0 ~ 297.2m ※297.2m	0.0 ~ 295.0m ※295.0m
Periodo	15 días (Sep. 21, 1988 ~ Oct. 5, 1988)	17 días (Dec. 19, 1988 ~ Jan. 14, 1989)	17 días (May. 5, 1989 ~ May. 21, 1989)	11 días (Nov. 7, 1989 ~ Nov. 17, 1989)	14 días (Apr. 27, 1992 ~ Apr. 26, 1992)
día/m	0.065 día/m	0.071 day/m	0.070 día/m	0.046 día/m	0.061 día/m
<b>Promedio</b>	<b>0.063 día/m</b>				
Diámetro del Pozo	12-1/4"				
sección de Perforación (m)	307.0 ~ 762.0m ※455.0m	310.5 ~ 617.0m ※306.5m	305.0 ~ 736.0m ※431.0m	301.0 ~ 687.0m ※386.0m	300.0 ~ 900.0m ※600.0m
tamaño del tubo (Production)	9-5/8"				
Sección del tubo (m)	0.0 ~ 738.0m ※738.0m	0.0 ~ 606.0m ※606.0m	0.0 ~ 731.0m ※731.0m	0.0 ~ 297.2m ※681.3m	0.0 ~ 878.3m ※878.3m
Periodo	27 días (Oct. 5, 1988 ~ Oct. 31, 1988)	14 días (Jan. 15, 1989 ~ Jan. 28, 1989)	25 días (May. 22, 1989 ~ Jun. 15, 1989)	13 días (Nov. 18, 1989 ~ Nov. 30, 1989)	41 días (Apr. 27, 1992 ~ Oct. 15, 1992)
día/m	0.059 día/m	0.046 día/m	0.058 día/m	0.034 día /m	0.068 día/m
<b>Promedio</b>	<b>0.053 día/m</b>				
Diámetro del Pozo	8-1/2"				
Sección de Perforación (m)	762.0 ~ 1178.5m ※416.5m	617.0 ~ 1486.5m ※869.5m	736.0 ~ 1406.0m ※670.0m	687.0 ~ 1726.2m ※1039.2m	900.0 ~ 1705.0m ※805.0m
tamaño del tubo (Slotted Liner)	-	-	-	7" ※tubería ranurada	-
Sección del Tubo(m)	-	-	-	672.0 ~ 1724.0m ※1052.0m	-
Periodo	15 días (Nov. 1, 1988 ~ Nov. 15, 1988)	20 días (Jan. 29, 1989 ~ Feb. 17, 1989)	16 días (Sep. 20, 1989 ~ Oct. 5, 1989)	42 días (Dec. 1, 1989~Dec. 23, 1989) (Nov. 28, 1991~Dec. 16, 1991)	24 días (Oct. 16, 1992 ~ Dec. 8, 1992)
día/m	0.036 día/m	0.023 día/m	0.024 día/m	0.040 día/m	0.030 día/m
<b>Promedio</b>	<b>0.031 día/m</b>				

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

**Cuadro 3–20 Período de Perforación Estimado para Pozos de Producción y Pozos de Reinyección**

	Pozo de producción		Pozo de reinyección	
		Tiempo estimado		Tiempo estimado
Primera sección ※20" Conductor Sección de instalación CSG	35m(0~35m) ※0~30m	5.4 días	35m(0~35m) ※0~30m	5.4 días
Segunda sección ※13-3/8" Superficie Sección de instalación CSG	370m(35~405m) ※0~400m	23.3 días	270m(35~305m) ※0~300m	17.0 días
Tercera sección ※9-5/8" Producción Sección de instalación CSG	600m(405~1005m) ※0~1000m	31.8 días	500m(305~805m) ※0~800m	26.5 días
Cuarta Sección ※7" Revestidor ranurado Sección de instalación CSG	1000m(1005~2005m) ※950~2000m	31.0 días	700m(805~1505m) ※750~1500m	21.7 días
<b>Profundidad de perforación</b>	<b>2005m</b>	<b><u>92 días</u></b>	<b>1505m</b>	<b><u>71 días</u></b>

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

(b) Cronograma de Perforación

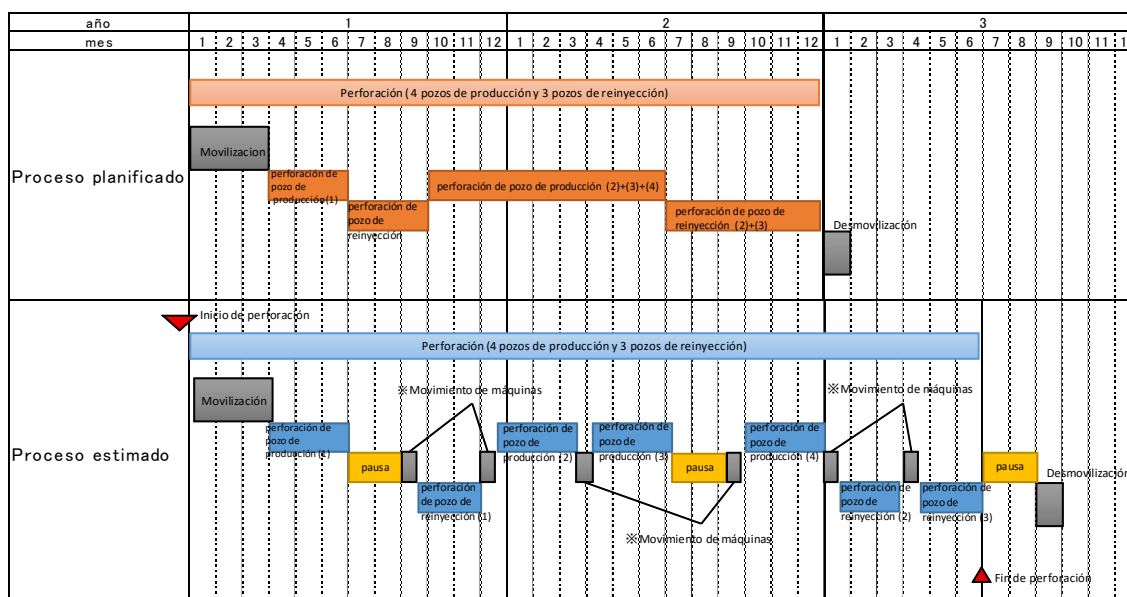
Los períodos de perforación de los nuevos pozos del Proyecto de Construcción de la Planta Geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Primera Etapa) se estimaron sobre las siguientes condiciones:

- De junio a octubre es la estación de invierno en el sitio del Proyecto, no se llevó a cabo ninguna obra de perforación en los pozos existentes, posiblemente por causa de problemas con la maquinaria y el congelamiento del agua de abasto bajo las severas condiciones de las bajas temperaturas. Se necesitará un período sin perforación de al menos dos meses, es decir, julio y agosto que son la estación más fría, para los nuevos pozos.
- Se estimó un período de transporte de un equipo de perforación entre diferentes plataformas de unos 20 días.
- El avance en la perforación de los nuevos pozos será casi igual al de los pozos ya existentes. Por lo tanto, el período de perforación de un pozo de producción y un pozo de reinyección se estiman en 91 días y 71 días, respectivamente.

Según este cálculo, el período de perforación necesario para todos los pozos nuevos es 30 meses según se muestra en el Cuadro 3621, mientras que el cronograma de perforación original establecía que éste era de 24 meses.

Ya que este período de perforación se calculó en base a los registros de perforación de hace más de 30 años y la tecnología de perforación debe haber mejorado en estos años, el período de perforación podía ser menor a 30 meses, si se utiliza un equipo de perforación con suficiente potencia. Sin embargo, debe tomarse nota que los nuevos pozos requieren perforación direccional y el avance en la perforación variará con las especificaciones técnicas de los pozos, tales como la profundidad del Punto de Inicio de la Curva (KOP) y la inclinación y el rumbo de los pozos. Las condiciones geológicas de los nuevos pozos seguirán siendo desconocidas, en especial en las secciones de perforación más profundidad del fondo de los pozos ya existentes. Estas porciones profundas de la perforación de los pozos podrían dar lugar a muchas pérdidas de circulación, las cuales representan uno de los principales problemas para la perforación. La determinación de los objetivos de perforación para los nuevos pozos y las especificaciones técnicas de los pozos nuevos son necesarios para establecer un cronograma de perforación detallado.

**Cuadro 3–21 Cronograma de Perforación Original y Cronograma de Perforación Calculado en este Estudio**



Fuente: Equipo de estudio de JICA

**(4) Pozos de Poca Profundidad para el Suministro de Agua Fresca de Abasto Durante la Perforación de Pozos Profundos**

Existen dos pozos de poca profundidad en el sitio del Proyecto: PPó 1 y PPó 2. Según las entrevistas al personal de ENDE durante la inspección del sitio que se llevó a cabo en este estudio, el pozo de poca profundidad PPó 1 estuvo disponible en 1994, pero ya no está disponible ahora. El pozo de poca profundidad PPó 2 registraba 7 l/seg durante las pruebas de bombeo en el 2011, según se muestra en el Cuadro 3ó 23.

El agua de abasto disponible proveniente de los pozos de poca profundidad es insuficiente para las perforaciones de pozos. Se necesita pozos de poca profundidad adicionales para que las perforaciones de los nuevos pozos sean sin complicaciones.

Se requerirá aproximadamente 40 l/seg de agua para una torre de perforación durante la perforación del pozo sin periodos inactivos de las torres de perforación, debido a la escasez de agua. Si dos torres de perforación trabajan en paralelo, el consumo de agua se debe duplicar, y en consecuencia se requerirá 80 l/seg de agua.

**Cuadro 3–22 Disponibilidad de Pozos de Poca Profundidad Existentes**

Número de pozo	PP-1	PP-2
Profundidad	130 m	150 m
Nivel de agua subterránea	100 m	88.15 m
Perforado	Sin informac i s	1987
Capacidad	No	7 L/seg
Observaciones	Disponible hasta aproximadamente 1994, pero las pruebas de bombeo en el 2010 han revelado que este pozo no estaba disponible.	Cantidad de agua extraída del pozo a partir de mayo del 2011 fue de 7 L/ seg.

Fuente: Equipo de Estudio de JICA



## CAPÍTULO 4 Estudio sobre el Tipo de Contrato para las Obras de Perforación del Proyecto de Energía Geotérmica

### 4.1 Método de Pago

#### 4.1.1 Contrato de Precio Unitario y Contrato a Precios de Suma Global

Por lo general, el método de pago para el contrato de construcción se clasifica en (1) un contrato a precio unitario (contrato de reó medición), (2) contrato a precios de suma global y (3) contrato a costoó másó honorarios (contrato de reembolso de costos). Si bien el òntrato a costoó másó honorariosö se utiliza algunas veces para las obras públicas en los países desarrollados, ya que éste no se aplica para los proyectos financiados por el asistente de desarrollo, el presente estudio sólo se centrará en (1) el contrato a precio unitario (contrato de reó medición) y (2) el contrato a precios de suma global. Las características de estos métodos de pago se resumen a continuación.

**Cuadro 4-1 Características del Contrato a Precio Unitario y el Contrato a Suma Global**

Método de Pago	Principales Condiciones de Contrato para Proyectos Financiados por JICA	Diseñador	Quien asume el riesgo por la cantidad de trabajo
Contrato a Precio Unitario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Libro Rojo de FIDIC</li> <li>• Formato de Obras de JICA (FIDIC, Banca Multilateral de Desarrollo, edición armonizada/ Libro Rosa del FIDIC)</li> <li>• Formato de Obras Pequeñas de JICA</li> </ul>	Empleador	Empleador
Contrato a Precio de Suma Global	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formato de Planta de JICA ( Formato ENAA)</li> <li>• Libro Amarillo de FIDIC</li> <li>• Libro Plata de FIDIC</li> </ul>	Contratista (Diseño y construcción)	Contratista

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

El contrato a precio unitario para las obras de perforación de los proyectos de energía geotérmica puede clasificarse en mayor detalle en un òntrato a tasa diaria/ horariaö y un òntrato a tasa por metro perforadoö. Aunque la tasa diaria/ horaria no trata exclusivamente de las cantidades de trabajo sino de los recursos para la ejecución de las obras, en el presente estudio se considerará al òntrato a tasa diaria/ horariaö como uno de los tipos de contrato a precio unitario.

En el contrato de diseño y construcción, el empleador no puede estimar el volumen de trabajo al momento de la oferta; por lo tanto, el pago al contratista solo se puede realizar sobre la base de suma global y no sobre la base de precios unitarios. En otras palabras, la aplicación del contrato a precio unitario tiene sentido cuando el empleador diseña las obras. En el presente proyecto, se asume que el empleador determinará todos los aspectos técnicos particulares, tales como la ruta de perforación, los diámetros de perforación, y los arreglos para la instalación de las tuberías de revestimiento.

El contrato a precio de suma global es adecuado para aquellos proyectos con poca posibilidad de encontrarse con condiciones físicas imprevisibles durante la construcción, ya que la variación del precio del contrato está considerablemente restringida, comparado con el contrato a precio unitario. Los eventos imprevisibles demoran el avance del trabajo e incrementan los costos de construcción; por lo tanto, el postor que tenga la intención de incluir una contingencia para estos riesgos dentro del contrato a precios de suma global propondrá un precio de oferta mayor que en el contrato a precio unitario.

En los proyectos de energía geotérmica, el trabajo de perforación de pozos es un trabajo típico con una elevada posibilidad de encontrar condiciones físicas imprevisibles relacionadas con la

geología del sitio. Los principales factores que rigen la velocidad de la perforación son la dureza de la roca y la condición geológica del lecho de roca. Otros fenómenos que causan un impacto significativo son las pérdidas de circulación, colapso de pozos, venidas súbitas del pozo, tuberías pegadas y pérdidas de componentes del BHA en el pozo (BHA: Bottom Hole Assembly o equipos de fondo de pozo). Estos detalles aparecen en el Cuadro 4.2. De manera particular, en lo que respecta a la pérdida de circulación, colapso de pozos, venidas súbitas del pozo y tuberías pegadas es muy difícil predecir y tomar medidas de prevención efectivas, ya que su probabilidad de ocurrencia y su magnitud varían grandemente. Lo único que se puede hacer es mantener los parámetros de perforación dentro de los valores de seguridad que prevengan situaciones inseguras durante la perforación.

En consecuencia, se considera razonable elegir el contrato a precio unitario para las obras de perforación del presente Proyecto.

**Cuadro 4-2 Problemas Encontrados Durante la Perforación de los Pozos y Medidas de Solución**

	Problemas	Causa/ Descripción de Problemas	Medidas de Solución	Impacto en los Costos	Impacto en el Programa
1	Pérdidas de Circulación	<p>Todo el lodo (fluido de perforación) fluye dentro de la formación sin retorno a la superficie debido a que la presión hidráulica del lodo excede la presión de la formación dentro del agujero.</p> <p>Las pérdidas de circulación severas inducen a detener la remoción de los recortes desde el fondo del pozo y obstruyen el avance de la perforación.</p> <p>La pérdida de circulación también causa problemas tales como colapsos de pozos y reventones de pozo (Blow Out).</p> <p>Es bastante difícil anticipar las zonas de pérdidas de circulación y evitarlas.</p>	<p>1. Uso de baches de lodo tratados con Material para Pérdidas de Circulación (LCM: Lost Circulation Material)</p> <p>Con el propósito de sellar cavidades y/ o fracturas, se utiliza LCM mezclado con el lodo. Los LCM's existen en diferentes tamaños y formas, tales como granular, fibroso y hojuelas. Una combinación de ellos es seleccionada para contrarrestar los diferentes tamaños de las pérdidas de circulación. Este método es conveniente para el tratamiento de pérdidas de circulación de pequeñas a mediana escalas.</p> <p>2. Tapones de Cemento</p> <p>Colocando cemento alrededor de la zona de pérdida de circulación para sellar las cavidades y/ o fracturas. Este método es muy útil para pérdidas de circulación de gran escala. Para remediar las pérdidas de circulación severas, se usa una combinación de LCM y tapones de cemento.</p> <p>3. Otros métodos</p> <p>Usar cemento de silicato de sodio (wáteróglass cemento), el cual es usado para pérdidas de circulación a gran escala, sin embargo, el costo requerido es alto por lo que debe usarse bajo el control de técnicos especializados.</p>	<p>1. Costo de LCM y/ o Cementaciones</p> <p>2. Costo de tiempos de espera (Costo Diario x Tiempo de Espera)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo de espera (pueden desde varios días hasta varias semanas)</li> </ul>
2	Colapso de Pozo	<p>Colapso de las paredes de los agujeros, caída de materiales (grava, arena, etc. de la misma formación) dentro del pozo. El colapso de los pozos induce atrapamientos de la tubería de perforación, de brocas y estabilizadores. La pérdida de circulación, frecuentemente, induce colapso en los pozos.</p>	<p>1. Rellenar con Cemento</p> <p>Tapones de lechada de cemento para mejorar la estabilidad del agujero.</p> <p>2. Instalación de la tubería de revestimiento</p> <p>Después de la instalación de la tubería de revestimiento, la cementación se realiza a través del interior de la tubería y sale por la zapata hacia la parte externa de la misma tubería. La siguiente sección de tubería de revestimiento será de mayor longitud.</p>	<p>1. Costo de la cementación</p> <p>2. Tiempos de espera</p> <p>3. Acorta el programa y se tiene costos extras de tubería de revestimiento</p>	<p>1. Tiempos de espera (pueden desde varios días hasta varias semanas).</p> <p>2. Acorta el programa (pueden desde varios días hasta varias semanas)</p>
3	Reventones de Pozo (Blow Out)	<p>Si el peso del lodo no es suficiente y la presión de la formación excede la presión hidráulica del fluido de perforación, el fluido geotérmico fluye dentro del agujero y un reventón inesperado de pozo puede ocurrir (Blow Out).</p> <p>Un reventón de pozo es inducido principalmente por la baja densidad del lodo y por una caída repentina de la presión del lodo (reduciendo la presión hidráulica por el movimiento de la broca, barras de peso o tuberías, etc.).</p> <p>*1: En particular, una caída repentina de la presión del lodo debido a operaciones no adecuadas durante viajes de tuberías y a la recuperación súbita de temperatura dentro del pozo son las principales causas de la ocurrencia de reventones de pozo en las perforaciones geotérmicas.</p> <p>*2: Un reventón de pozo es considerado como muy peligroso en trabajos de perforación.</p>	<p>1. Instalación de Preventores de Reventón (BOP: Blow Out Preventer)</p> <p>Después que los BOP's sellan el pozo, se inyecta lodo y agua limpia dentro del pozo para controlar la presión por medio del incremento de la presión hidráulica o por el enfriamiento causado por el agua bombeada. Es muy difícil controlar un reventón de pozo sin tener los BOP's instalados. El agua se inyecta por las válvulas laterales del cabezal.</p> <p>2. Perforación de Pozos de Alivio</p> <p>Se perforan pozos de alivio en los alrededores para interceptar el pozo original con el propósito de liberar la presión del pozo.</p>	<p>1. Costo por Tiempos de espera</p> <p>2. Costo por tratamiento de los daños que cause el agua geotérmica que sea expulsada desde el pozo durante el reventón del pozo</p> <p>3. Costo de perforación de los pozos de alivio</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retraso en el programa (pueden desde varios días hasta varias semanas)</li> </ul>

	Problemas	Causa/ Descripción de Problemas	Medidas de Solución	Impacto en los Costos	Impacto en el Programa
4	Tubería Atrapada	<p>① Tubería atrapada debido a colapso. En este caso la Broca, estabilizadores, tubería de perforación están atrapadas, prácticamente cubiertos por material sobre ellos. Las principales causas de tubería atrapada se relacionan con brocas y estabilizadores bloqueados por materiales atrapados en los espacios entre las herramientas y las paredes internas del agujero.</p> <p>② Pegadura por presión diferencial Una sarta de perforación es presionada contra las paredes del agujero debido a la diferencia de la presión hidráulica y la presión de formación.</p> <p>③ Ojo de Llave El ojo de llave ocurre cuando los tubos de perforación rotan contra un punto en la pared del agujero, el cual se convierte como un ojo de llave. Esto causa que las tuberías de perforación con las barras de peso queden atrapadas.</p>	<p>1. Tensionar fuertemente la sarta de perforación Efectuar trabajos de fuerza muy fuertes de tensión hacia arriba y de compresión hacia abajo (hasta ciertos límites de manera controlada).</p> <p>2. Aplicar fuertes golpes en la sarta Se aplican fuertes impactos por medio del uso de una herramienta especial llamada ñJarö para liberar la tubería.</p> <p>3. Cortar Tubería en el punto más cercano al lugar del atrapamiento Se corta un tubo en el punto arriba de la sección atrapada de la tubería. Normalmente, la operación que sigue es la de realizar un ñSide Trackö después de haber cementado lo que la herramienta que haya quedado en el pozo.</p> <p>4. Usar baches de aceite Se envían baches de aceite (diesel o vegetal) preparado en superficie con algunos aditivos para liberar la tubería atrapada. Este método es muy útil para recuperar tubería atrapada debido a presión diferencial.</p> <p>Nota: Si el atrape de tubería es en un pozo de producción, entonces lo mejor es no usarlo para evitar daños en los pozos. Una alternativa es usar los aditivos que no contengan diesel, aunque son menos efectivos en los resultados. En Japón, al igual que en la mayoría de países, el aceite derivado del petróleo no se usa por protección al medio ambiente.</p>	<p>1. Costo por Tiempos de espera</p> <p>2. Costo de los materiales usados</p>	<p>• Retraso en el programa (pueden desde varios días hasta varias semanas).</p> <p>* Para perforar el ñside trackö pueden requerirse varias semanas o hasta meses</p>
5	Pérdida de Herramienta dentro del Pozo	<p>Tubos de perforación se caen dentro del pozo durante operaciones de perforación.</p> <p>Los operadores dejan caer algunos instrumentos dentro del pozo.</p>	<p>• Pesca Recuperar herramientas caídas en el fondo del agujero por medio de herramientas de pesca. Hay muchos tipos de herramientas de pesca, tales como ñOvershotö, machuelo para hacer roscas en la cabeza del pez y herramientas magnéticas. Si se falla en la pesca, se hace necesario realizar la perforación de un ñside Trackö luego de cementar la sección en donde han quedado los instrumentos perdidos.</p>	<p>1. Costo por Tiempos de espera</p> <p>2. Costo de los materiales usados</p>	<p>• Retraso en el programa (pueden desde varios días hasta varias semanas).</p> <p>* Para perforar el ñside trackö pueden requerirse varias semanas o hasta meses</p>

Nota: La perforación de un pozo lateral significa hacer una perforación direccional desde un punto intermedio de un pozo existente. Después de perforar el pozo lateral se puede dirigir el nuevo pozo hacia otro objetivo o volver al objetivo original.

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

#### 4.1.2 Método de Pago en Contratos modelo IADC

La Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (de aquí en adelante, ðIADCö), la cual fue creada en 1940 por los contratistas de perforación que participan en el desarrollo de pozos petroleros y geotérmicos, ha publicado contratos modelo, entre los que se incluye el ðcontrato a tasa diariaö, el ðcontrato a tasa por metro perforadoö y el ðcontrato llave en mano (a precio de suma global)ö.

El contrato modelo de la IADC ha sido utilizado en una serie de proyectos de perforación de pozos geotérmicos, según se describe en el Capítulo 4.1.4. Las características sobresalientes de estos tres contratos modelo se muestran en el Cuadro 463.

**Cuadro 4-3 Características de las Condiciones Estándar IADC de Contrato para las Obras de Construcción**

Rubros	Contrato a Tasa de Precio Unitario		
	Contrato a Tasa Diaria <sup>3</sup>	Contrato a Tasa por metro perforado <sup>4</sup>	Contrato Llave en Mano <sup>5</sup> (Contrato a Precio de Suma Global)
<b>Período de Construcción</b>	Se puede especificar	Solo se indica la fecha de inicio	Solo se indica la fecha de inicio
<b>Período de tiempo</b>	De mutuo acuerdo entre las partes del contrato	No se especifica	No se especifica
<b>Profundidad del pozo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad máxima de pozo especificada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad de Metraje de Contrato especificada</li> <li>Profundidad máxima especificada (que no sea la de profundidad de metraje de Contrato)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Profundidad de llave en mano especificada</li> <li>Profundidad/ Profundidad máxima de contrato especificada (que no sea la de profundidad de Llave en mano)</li> </ul>
<b>Tipo de precios unitarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa de movilización</li> <li>Tasa de desmovilización</li> <li>Tasa Operativa</li> <li>Tasa de Tiempo de Espera</li> <li>Tasa durante Reparación</li> <li>Tasa por renta de equipo no incluido en la renta de la torre de perforación</li> <li>Tasa por suministro de agua fresca para la perforación</li> <li>Tasa de Fuerza Mayor, etc.</li> <li>Pago adicional por condiciones climáticas adversas especificadas</li> <li>Revisión de precio unitario especificada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa por metro perforado</li> <li>Tasa de tiempo de espera</li> <li>Tasa de Paralización de trabajo</li> <li>Tasa Operativa</li> <li>Tasas de Flujo de Perforación</li> <li>Costos Reembolsables, etc.</li> <li>La Tasa Operativa se aplica para la parte en que se utiliza el pago a tasa diaria (La supervisión de la construcción la realizará el contratista para la parte en que se utiliza el pago a tasa por metro perforado).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monto de Llave en mano</li> <li>Tasa de tiempo de espera</li> <li>Tasa de Paralización de Trabajo</li> <li>Tasa Operativa</li> <li>Tasas de Flujo de Perforación</li> <li>Costos Reembolsables, etc.</li> <li>La Tasa Operativa se aplica para la parte del contrato en que se utiliza el pago a tasa diaria (La supervisión de la construcción la realizará el contratista para la parte en que se utiliza el contrato a precio de suma global).</li> </ul>
<b>Pago</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mensual (el pago se realizará en un plazo máximo de 30 días luego de la entrega de la factura).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El pago se realizará a la culminación de los servicios por la Profundidad del Contrato de Metrajes. (El pago mensual está opcionalmente disponible para las obras diarias).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El pago se realizará a la culminación de los servicios por la Profundidad de Llave en Mano. (El pago mensual está opcionalmente disponible para las obras diarias.)</li> </ul>
<b>Compensación por condiciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El empleador decidirá la tasa unitaria aplicable para casos tales como</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el caso que las obras de perforación durante un período de veinticuatro (24) horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se aplicará la tasa unitaria especificada para la parte del pago a tasa diaria (que no sea la</li> </ul>

<sup>3</sup> International Land Daywork Drilling Contract (Contrato Internacional de Perforación en Tierra por Día de Trabajo) (publicado en el 2010)

<sup>4</sup> Footage Drilling Contract ó U.S. (Contrato de Perforación de Metrajes ó EE.UU.) (publicado en abril del 2003)

<sup>5</sup> Model Turnkey Contract (Contrato Modelo de Llave en Mano) (publicado en abril del 2003)

Rubros	Contrato a Tasa de Precio Unitario		
	Contrato a Tasa Diaria <sup>3</sup>	Contrato a Tasa por metro perforado <sup>4</sup>	Contrato Llave en Mano <sup>5</sup> (Contrato a Precio de Suma Global)
físicas imprevisibles	suspensiones, variaciones, y otros.	multiplicadas por la tasa por metro perforado no equivalen a la tasa de día de trabajo aplicable más el costo de las brocas, todas las operaciones de perforación se realizarán por día de trabajo.	de profundidad de Llave en mano). • Se aplicará la Tasa Operativa.
Adquisición de materiales y equipo de perforación	• El equipo, los materiales y los servicios a ser provistos por cada parte se especifican en la Lista de Control de las Obligaciones del Contratista y el Operador.	• El equipo, los materiales y los servicios a ser provistos por el Operador se especifican en el formato. • El equipo, los materiales y los servicios a ser provistos por la Parte Designada se especifican en el formato.	• El equipo, los materiales y los servicios a ser provistos por la Parte Designada se especifican en el formato.

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Tal y como se muestra en el cuadro de arriba, existen tres (3) tipos de tasas unitarias en el Contrato de Renta Diaria, a saber, la Tasa de Operación por el tiempo real de perforación, la Tasa por el tiempo de espera y la Tasa durante la Reparación cuando se tiene tiempo de reparación de los equipos. Estas tasas unitarias se aplicarán dependiendo de las situaciones de trabajo.

Más aún, el contrato modelo IADC hace posible el uso parcial del pago a tasa de renta diaria, incluso en el Contrato a Tasa por Metro Perforado y el Contrato a Precio de Suma Global utilizando la Tasa de Operación. Por ejemplo, el pago a tasa por metro perforado o el pago a precio de suma global se aplican en las secciones donde las condiciones geológicas se han confirmado suficientemente y el pago a precio unitario se aplica para otras secciones donde el riesgo geológico es alto. Con este arreglo contractual, la exposición del Contratista a los riesgos se puede reducir de manera razonable. En otras palabras, el contrato a precio de suma global de IADC no tiene la intención de fijar el precio del contrato pero permite el cambio del precio del contrato dependiendo de la situación.

#### 4.1.3 Estudio de Casos sobre Contratos utilizados en Proyectos de Energía Geotérmica en Otros Países

Se realizó investigaciones a varios proyectos de energía geotérmica en otros países para examinar las condiciones de contrato y el método de pago realmente utilizado, y el resultado se muestra en el Cuadro 464. La mayoría de los proyectos son autofinanciados por los organismos ejecutores y el número de proyectos financiados por las agencias de financiamiento internacionales es muy limitado. Estos ejemplos provienen de países con varios años de experiencia en la explotación geotérmica.

**Cuadro 4-4 Características de los Contratos de Perforación para Proyectos de Energía Geotérmica en el Extranjero**

Nombre del país Nombre del Proyecto (Año)	Método de pago	Características
Nicaragua San Jacinto ó Proyecto de Energía Geotérmica Tizate (2013)	Tasa de renta diaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrato modelo IADC (contrato a tasa de renta diaria) utilizado parcialmente</li> <li>• Sin estipulaciones sobre el período de construcción y los daños por demoras</li> <li>• Se utilizará el precio unitario especificado para las condiciones físicas imprevisibles (dependiendo de la decisión del empleador).</li> </ul>

Nombre del país Nombre del Proyecto (Año)	Método de pago	Características
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Algunos materiales, como por ejemplo las tuberías de revestimiento, son adquiridos por el Empleador</li> </ul>
Ruanda Programa de Exploración Geotérmica de Ruanda (2011)	Tasa de renta diaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se utiliza el contrato a tasa de renta diaria. Algunas de las especificaciones técnicas están basadas en el contrato a tasa por metro perforado de IADC</li> <li>Período de construcción: 6 meses</li> <li>Pago adelantado: 20%</li> <li>Se utilizará el precio unitario especificado para las condiciones físicas imprevisibles (dependiendo de la decisión del empleador).</li> <li>Algunos materiales, como por ejemplo las tuberías de revestimiento, son adquiridos por el Empleador.</li> </ul>
Servicios de Pozos Geotérmicos de Djibouti (2009)	Tasa de renta diaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se utiliza el contrato a tasa de renta diaria. Algunas de las especificaciones técnicas están basadas en el contrato a tasa por metro perforado de IADC.</li> <li>Sin estipulaciones sobre el período de construcción y los daños por demoras</li> <li>Algunos materiales, como por ejemplo las tuberías de revestimiento, son adquiridos por el Empleador.</li> </ul>
El Salvador Servicios de Perforación para el Proyecto Geotérmico Berlín (1995)	Tasa de renta diaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Financiado por el BID</li> <li>Se hará referencia a los detalles en el Capítulo 4.2.5</li> </ul>
Chile Suministro de Equipo de Perforación para las Concesiones Geotérmicas Nevados de Chillan, Apacheta, La Torta y El Tatio (2007)	Tasa de renta diaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contrato modelo IADC (contrato a tasa de renta diaria) utilizado parcialmente</li> </ul>
Islandia Ningún proyecto en particular	Tasa por metro perforado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se utiliza el contrato modelo IADC (contrato a tasa por metro perforado) con modificaciones</li> </ul>
Indonesia Proyecto Geotérmico PPI Sarulla (2014) *	Tasa de renta diaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se aplica el contrato a precio de suma global para la construcción de la plataformas de pozos sin referencia al día de trabajo y la cantidad de trabajo.</li> <li>Se aplica la Administración Integrada de Proyecto.</li> </ul>

\*No hay documentos disponibles (solo informacicto.ntidad

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Tal y como se muestra en el cuadro de arriba, se confirma que la mayor parte del proyecto utiliza el contrato a tasa de renta diaria. Aunque no se pudo obtener los documentos de contrato reales en Islandia, se supo que allí se utiliza ampliamente el contrato a tasa por metro perforado. En la investigación no se identificó un proyecto que utilizaba el contrato a precio de suma global.

#### 4.1.4 Estudio de Caso de Contrato de Perforación de Pozo Geotérmico en Japón

Se realizó una investigación sobre el tipo de contrato y el método de pago que realmente se aplica en los proyectos de energía geotérmica en Japón. Se encontró que el contrato a precio de suma global es el que básicamente se utiliza; sin embargo, el precio del contrato se puede ajustar aplicando la tasa de renta diaria establecida para cada diámetro de perforación que cubre el costo de la propiedad de la torre de perforación, el costo de la mano de obra, el costo del alquiler del equipo y el costo administrativo correspondiente. Normalmente, dicho ajuste de costo se permite para contramedidas contra las pérdidas de circulación y el colapso de pozos, cuyo impacto de costo varía ampliamente, de acuerdo con las situaciones reales que se presenten. Adicionalmente, existe un caso en el que se permite el reembolso del costo por la

diferencia entre la profundidad planeada y la profundidad real con el uso de los precios unitarios por metro establecido para cada diámetro de perforación que se han acordado de antemano. Tal y como se mencionó anteriormente, el contrato que prevalece en el proyecto de energía geotérmica en Japón puede considerarse como un contrato similar al del contrato a precio unitario.

Más aún, las partes del contrato discutirán y acordarán el pago adicional y/ o la ampliación de tiempo para la terminación, siempre que surjan los siguientes eventos.

- (1) Cambio en el diseño, obras adicionales y omisión de obras (costo adicional y ampliación de tiempo para la culminación)
- (2) Suspensión y cese por conveniencia del empleador (costo adicional)
- (3) Caso fortuito y fuerza mayor (ampliación de tiempo solo para la terminación)
- (4) Incremento en la cantidad de trabajo más allá de lo planeado (costo adicional)

#### 4.1.5 Resultado de las Encuestas por Entrevistas con Contratistas de Perforación

Se realizó la encuesta por medio de entrevistas a doce (12) contratistas de perforación de pozos en Santa Cruz, Bolivia. Todos los contratistas han mostrado gran interés en la participación en este proyecto. Con relación al método de pago, se confirmó que el contrato de su preferencia es el contrato a precio unitario y estaban muy renuentes a aceptar el contrato a tasa por metro perforado y el contrato a precio de suma global, ante el riesgo del contratista a quedar expuesto a eventos imprevisibles. En especial, mostraron opiniones muy negativas en cuanto al contrato a precio de suma global.

**Cuadro 4-5 Resultado de las Entrevistas en Cuanto al Método de Pago y a la AIP**

Contratista	Método de Pago Preferido			Adaptabilidad a la Aplicación de la AIP*
	Diaria	Metraje	Llave en Mano (Suma Global)	
1	○	—	—	○
2	○	—	—	○
3	○	—	—	○
4	○	—	—	—
5	○	—	—	—
6	○	—	—	—
7	○	—	—	○
8	○	—	—	—
9	○	—	—	—
10	○	—	—	—
11	○	—	—	—
12	○	—	—	—

\*AIP (Administración Integrada de Proyecto): La administración total en la que todos los materiales y los equipos serán adquiridos por el Contratista.

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

También, se confirmó que el contrato a precio unitario se ha utilizado comúnmente en los proyectos ejecutados en el que se ha comprometido a los contratistas de perforación. Con relación al contrato a tasa por metro perforado, algunos de los contratistas brindaron sus opiniones de que este contrato podría ser aceptable, si es que ya han realizado una suficiente cantidad de obras de perforación en el mismo sitio sobre la base de Tasa diaria y ellos mismos hayan confirmado las condiciones geológicas reales, o sea, después de adquirir experiencia y conocimiento de la zona a perforar.



#### 4.1.6 Método de Pago Aplicable al Proyecto

De entre los tres (3) tipos de métodos de pago, ótasa de renta diariaö, ótasa por metro perforadoö y öprecio a suma globalö, se sugiere que se descarte el öprecio a suma globalö para su uso en el Proyecto, por las siguientes razones:

- (4) La posibilidad de un fracaso en la oferta se hace mayor debido al gran riesgo geológico asignado al contratista
- (5) No se confirmó la aplicación del öcontrato de precio a suma globalö en el estudio
- (6) Sobre la base de la encuesta por medio de entrevistas, los contratistas se muestran muy negativos a adaptar un öcontrato de precio a suma globalö en Bolivia.

Se le considera al öContrato a tasa por metro perforadoö como el tipo de contrato favorable para el empleador, ya que el contratista también comparte una porción del riesgo geológico. Sin embargo, los doce (12) contratistas de perforación entrevistados en Santa Cruz se muestran negativos a aceptar el öcontrato a tasa por metro perforadoö, incluso cuando se haya provisto los siguientes arreglos contractuales.

- (1) El empleador pondrá a disponibilidad de los postores todos los registros de perforación exploratoria existentes.
- (2) El öpago a tasa de renta diariaö se aplicará en caso se encuentren condiciones físicas imprevisibles.

Basados en los anterior, parece práctico aplicar el öpago a tasa de renta diariaö para el Proyecto, el cual es el método más comúnmente usado en la industria de la perforación de pozos geotérmicos.

Sin embargo, se señala que es inevitable contar con una estrecha supervisión por parte del empleador a las obras del Contratista, a fin de evitar pagos extras causados por el lento avance de las obras, debido a fallas de parte del Contratista.

## 4.2 Condiciones del Contrato

### 4.2.1 Generalidades

Las öCondiciones del Contratoö es un documento fundamental en el contrato porque define los derechos y las obligaciones contractuales de las partes del Contrato y por lo tanto, determina la asignación de riesgos entre las partes.

En la selección de las condiciones del Contrato, se considera apropiado elegir las condiciones estándar de contrato ampliamente utilizadas en la industria correspondiente, por las siguientes razones.

- 1) Se han utilizado y probado en un gran número de proyectos, por lo tanto, ofrece una elevada confiabilidad.
- 2) Se hace una mejora continua.
- 3) Tanto el empleador como el contratista están familiarizados con los términos del contrato, de tal modo que fácilmente pueden identificar su riesgo contractual.

Las condiciones del contrato que se mencionan a continuación son las candidatas para el contrato de perforación del Proyecto, en el caso que se aplique el contrato a precio unitario:

- 1) El Libro Rosa del FIDIC (Las Condiciones del Contrato para la Construcción del FIDIC, Versión Armonizada de los Bancos Multilaterales de Desarrollo ó BMD)
- 2) El Contrato a Tasa de renta Diaria del IADC (El Contrato Internacional de Perforación en Tierra por Dia de Trabajo de IADC)

## 4.2.2 Características Generales del Libro Rosa del FIDIC

La primera edición del Libro Rojo del FIDIC (Condiciones de Contrato para Obras) se publicó en 1957 y se ha utilizado en una gran cantidad de contratos de construcción internacionales. En 1999, el FIDIC ha publicado la 5ta. Edición del Libro Rojo. El Libro Rosa del FIDIC, una versión modificada del Libro Rojo del FIDIC de 1999, representa las condiciones del contrato que se ha preparado a la medida para los proyectos financiados por los bancos multilaterales de desarrollo (BMD). El Banco Mundial comenzó a utilizar el Libro Rosa del FIDIC en el 2005.

Las directrices para las adquisiciones dentro de los préstamos AOD de Japón exigen que el Prestatario utilice los Documentos de Licitación Estándar de JICA, según se establece más adelante, y los Documentos de Licitación Estándar (Obras) adoptan el Libro Rosa del FIDIC como sus condiciones de contrato:

### Sección 4.01 Disposiciones Generales

- (2) *Los Prestatarios utilizarán los Documentos de Licitación Estándar (DLE) apropiados en la versión más reciente emitida por JICA con cambios mínimos aceptables para JICA, necesarios para introducir condiciones específicas del proyecto. Tales cambios serán introducidos únicamente a través de las hojas de datos, o a través de condiciones especiales del contrato, y no a través de cambios en el texto estándar de los DLE de JICA. Cuando no se haya emitido un DLE relevante, el Prestatario utilizará otras condiciones de contrato y formularios de contrato estándar reconocidos internacionalmente y aceptables para JICA.*

Desde el 2005, el Libro Rosa del FIDIC ha sido utilizado para los proyectos financiados por los BMD y JICA, cuyas características generales se resumen a continuación:

- 1) Aplicable a proyectos diseñados por el empleador.
- 2) El pago se realiza de manera mensual, a precio unitario y reó medición (método BOQ).
- 3) Se mantiene una asignación de riesgo equilibrado entre el empleador y el contratista, basado en los conceptos de que los riesgos serán asumidos por la parte que mejor pueda manejar dichos riesgos.
- 4) El empleador asume aquellos riesgos que no pueden ser manejados por cualquiera de las partes y que no pueden ser asegurados bajo términos comercialmente razonables.
- 5) Se nombra al Ingeniero para que desempeñe los siguientes roles.
  - (1) Como agente del Empleador
    - Para ofrecer apoyo técnico y administrativo al empleador como un agente del empleador.
  - (2) Como Administrador Independiente del Contrato
    - Para emitir diversos certificados, tales como el certificado de pago y el certificado de Aceptación, los cuales se relacionan con las obligaciones contractuales del Contratista.
    - Para evaluar y determinar los reclamos hechos por las partes.
- 6) El proceso de resolución de reclamos y disputas o controversias se especifica en detalle. El proceso de solución por capas tiene como objetivo la solución de los reclamos y las disputas o controversias.

### 4.2.3 Características Generales de los Contratos IADC

Tal y como se describe en el Capítulo 4.1.2, la IADC publica tres (3) tipos de contrato modelo, dependiendo de los diferentes métodos de pago. (Contrato a tasa de renta diaria, contrato a tasa por metro perforado y contrato a precio de suma global).

En el Contrato a tasa de renta diaria de IADC, el contratista brindará los recursos requeridos para el trabajo y llevará a cabo las operaciones de perforación bajo la dirección y la supervisión del Empleador (al que se le denomina el Operador en los contratos IADC), según se estipula en la Cláusula 501. El Estándar de Desempeño del Contratista, por lo tanto, se interpreta que el empleador asume la responsabilidad final de la construcción.

#### 501. El Estándar de Desempeño del Contratista

*"El Contratista llevará a cabo todas las operaciones dentro del presente contrato, sobre la base de un día de trabajo. Para propósitos del presente documento, el término "base de un día de trabajo" significa que el Contratista proveerá el equipo, la mano de obra y realizará servicios según se provean en el presente documento, por una suma especificada por día, bajo la dirección y la supervisión del Operador (incluyendo a cualquier empleado, agente, consultor o subcontratista a quien el Operador haya comprometido para dirigir las operaciones de perforación directamente). Al operar sobre la base de un día de trabajo, el Contratista recibirá el pago total a las tasas aplicables de pago y asumirá sólo las obligaciones y las responsabilidades aquí establecidas. Excepto para aquellas obligaciones y responsabilidades que hayan sido específicamente asumidas por el Contratista, el Operador será el único responsable y asumirá la responsabilidad de todas las consecuencias de las operaciones realizadas por ambas partes, siempre que sean sobre la base de un día de trabajo, incluyendo los resultados y todos los demás riesgos u obligaciones incurridos o que hayan surgido como incidentes en tales operaciones, no obstante cualquier incumplimiento de representación o garantía, ya sea expresa o implícita, o la negligencia o falta, en cualquier grado o carácter de parte del Contratista, el Personal del Contratista, sus subcontratistas, consultores, agentes o servidores, incluyendo la negligencia sola, concurrente o supina, ya sea activa o pasiva, los defectos latentes, ya sean éstos activos o pasivos (sean o no pre-existentes) y cualquier responsabilidad basada sobre cualquier teoría o agravio, incumplimiento de contrato, incumplimiento de deber (ya sea estatutario, contractual o de otro tipo), responsabilidad regulatoria o estatutaria, o estricta responsabilidad, incluyendo el defecto o daño de los locales e instalaciones, ya sea latentes o patentes".*

Entre tanto, el contrato a tasa por metro perforado y el contrato a precio de suma global estipulan lo siguiente:

*"El contratista dirigirá, supervisará y controlará las operaciones de perforación y asume ciertas responsabilidades al grado que se le asignen de manera específica en el presente documento".*

Por lo tanto, se considera que el contratista asumirá la responsabilidad de la ejecución del trabajo. (En caso se aplique parcialmente el pago a tasa de renta diaria, la responsabilidad compartida con respecto a la parte de las obras será la misma que en el contrato de base diaria arriba mencionado.

Aunque la compensación por reclamos ante condiciones geológicas imprevisibles se determinará de acuerdo con los procedimientos de resolución de reclamos especificados, el contrato IADC a tasa de renta diaria cuenta con un concepto para lidiar con dicha situación imprevisible aplicando diferentes tasas unitarias de perforación, como por ejemplo la Tasa de Tiempo de Espera (Stand By). En otras palabras, se reconoce que el contrato modelo de la IADC cuenta con un mecanismo que permite el cambio flexible del método de construcción, el cual se basa en una instrucción dada por el empleador en el sitio, y varía el precio del contrato y

el período de construcción en tiempo real, sin tener que continuar con un procedimiento de solución de reclamos.

#### 4.2.4 Comparación entre el Libro Rosa del FIDIC y el Contrato IADC

El Cuadro 4.6 muestra las comparaciones de las cláusulas del Contrato entre el Libro Rosa del FIDIC, el cual se utiliza ordinariamente para proyectos financiados por JICA, y el contrato a tasa de renta diaria de la IADC.

**Cuadro 4.6 Comparación entre el Libro Rosa del FIDIC y el Contrato a Tasa de Renta Diaria de la IADC**

Rubros	Libro Rosa del FIDIC	Contrato a Tasa de Renta Diaria de la IADC <sup>6</sup>	Principales Diferencias en el Contrato IADC
Estipulaciones Generales	1. Estipulaciones Generales		Solo se definen nueve (9) términos, tales como el Personal del Contratista y el Personal del Operador.
	• Definiciones	• Definiciones (101)	
	• Interpretación	• No se especifica.	
	• Comunicaciones	• No se especifica.	
	• Ley e Idioma	• Ley que Rige (108) / Idioma que Rige (109)	
	• Prioridad de los Documentos	• Conflictos (103)	
	• Acuerdo Contractual	• El Acuerdo en su Integridad (1309) / Fecha Efectiva (201)	
	• Asignación	• Asignación (1102)	
	• Atención y Provisión de Documentos	• No se especifica.	
	• Dibujos o Instrucciones Demorados	• No se especifica.	
	• Uso de los Documentos de Contratista por parte del Empleador	• No se especifica.	
	• Uso del Contratista de los Documentos del Empleador	• No se especifica.	
	• Detalles Confidenciales	• Información Confidencial (1301)	
	• Cumplimiento con las leyes	• Ley que Rige (108)	
• Responsabilidad solidaria	• No se especifica.		
• Inspecciones y Auditoría por parte del Banco	• No se especifica.		
El Empleador	2. El Empleador		• La responsabilidad de atender las rutas de acceso la tiene el Empleador. • El costo de reparación de las rutas de acceso ha de ser reclamado por el Contratista.
	• Derecho de acceso al sitio	• Sitio de la Perforación y Acceso (605)	
	• Permisos, Licencias o Aprobaciones	• No se especifica.	
	• Personal del Empleador	• No se especifica.	
	• Arreglos Financieros del Empleador	• Garantía Financiera (804)	
	• Reclamos del Empleador	• No se especifica.	
El Ingeniero	3. El Ingeniero	No se especifica.	• No se nombra al Administrador Independiente del Contrato ni al Supervisor de la Construcción.

<sup>6</sup> Los números en paréntesis son los números de las cláusulas en el Contrato a Tasa Diaria de la IADC.

Rubros	Libro Rosa del FIDIC	Contrato a Tasa de Renta Diaria de la IADC <sup>6</sup>	Principales Diferencias en el Contrato IADC
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrato entre dos partes en su más pura esencia.</li> </ul>
El Contratista	<u>4. El Contratista</u>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• La selección del Programa de Fluidos/ Revestimiento de la Perforación se cumplirá siguiendo las instrucciones del Empleador. (505. Programa de Fluidos/ Revestimiento de la Perforación)</li> <li>• El Empleador es responsable de las actividades realizadas por el Subcontratista contratado por el Contratista (601. Equipo y Personal)</li> </ul>
	• Obligaciones del Contratista	• Estándar de Desempeño del Contratista (501)	
	• Garantía de Cumplimiento	• No se especifica.	
	• Representante del Contratista	• Representante del Contratista (303)	
	• Subcontratistas	• Subcontratistas (1101)	
	• Asignación del Beneficio del Subcontrato	• No se especifica.	
	• Cooperación	• No se especifica.	
	• Planteamiento	• Operación de la Unidad de Perforación (502)	
	• Procedimientos de Seguridad	• Cumplimiento con las Instrucciones del Operador (503)	
	• Seguridad de la Calidad	• No se especifica.	
	• Datos del Sitio	• No se especifica.	
	• Suficiencia del Monto de Contrato Aceptado	• No se especifica.	
	• Condiciones Físicas Imprevisibles	• No se especifica.	
	• Derechos de vía e instalaciones	• No se especifica.	
	• Evitamiento de interferencias	• No se especifica.	
	• Ruta de Acceso	• No se especifica.	
	• Transporte de bienes	• No se especifica.	
	• Equipo del Contratista	• No se especifica.	
	• Protección del medioambiente	• No se especifica.	
	• Electricidad, agua y gas	• No se especifica.	
• Equipo y Materiales de emisión gratuita del Empleador	• Inspección de materiales provistos por el Operador (510)		
• Informes de Avance	• No se especifica.		
• Seguridad en el sitio	• No se especifica.		
• Operaciones del Contratista en el sitio	• No se especifica.		
• Fósiles	• No se especifica.		
Subcontratistas nominados	<u>5. Subcontratistas Nominados</u>	No se especifica.	
Personal y Mano de Obra	<u>6. Personal y Mano de Obra</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obligación de proveer personal (301)</li> <li>• Número, selección, horas de Trabajo y Remuneración , (302)</li> <li>• Reemplazo del personal del Contratista (305)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Empleador está de acuerdo en que el personal del empleador estará sujeto a la política del Contratista con relación a la prohibición de bebidas alcohólicas y sustancias controladas</li> <li>• (603. Representantes del Operador)</li> </ul>

Rubros	Libro Rosa del FIDIC	Contrato a Tasa de Renta Diaria de la IADC <sup>6</sup>	Principales Diferencias en el Contrato IADC
Planta, Materiales y Trabajo	7. Planta, Materiales y Trabajo	• Artículo IV ó Rubro del Contratista	• No se ofrece una descripción detallada para la prueba y el muestreo de materiales
Inicio, Demoras y Suspensión	8. Inicio, Demoras y Suspensión		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fecha de inicio significa el tiempo cuando la Unidad de Perforación inicia la movilización hacia el primer sitio de perforación.</li> <li>• El Empleador puede solicitarle al Contratista que incremente su personal que está sujeto a paga.</li> <li>• (304. Incremento en el Personal del Contratista)</li> </ul>
	• Inicio de las Obras	• Definiciones (101)	
	• Tiempo para la culminación	• Duración (202)	
	• Programa	• No se especifica.	
	• Ampliación del tiempo para la culminación	• Opción de Ampliación (204)	
	• Demoras causadas por las autoridades	• No se especifica.	
	• Tasa o Velocidad de Avance	• No se especifica.	
	• Daños por demoras	• No se especifica.	
	• Suspensión del trabajo	• No se especifica.	
	• Consecuencias de la Suspensión	• No se especifica.	
	• Pago por Planta y Materiales ante una suspensión	• No se especifica.	
	• Suspensión prolongada	• No se especifica.	
• Reanudación del Trabajo	• No se especifica.		
Prueba a la Culminación	9. Pruebas a la Culminación	No se especifica.	
Aceptación y toma de control del Empleador	10. Aceptación y toma de control del Empleador	No se especifica.	
Responsabilidad por Defectos	11. Responsabilidad por Defectos	No se especifica.	• El Contratista quedará liberado de la responsabilidad por defectos cuando se desmovilice la unidad de perforación.
Medición y Evaluación	12. Medición y Evaluación		• El pago se realizará en base al registro de trabajo.
	• Trabajos u obras a medirse	• No se especifica.	
	• Método de medición	• No se especifica.	
	• Evaluación	• Variación de las tasas (709)	
Variaciones y Ajustes	• Omisiones	• No se especifica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La ejecución de las obras se llevará a cabo, de acuerdo con las instrucciones del Empleador.</li> <li>• Se tratará dichas instrucciones como Variaciones en el Libro Rosa del FIDIC.</li> </ul>
	13. Variaciones y Ajustes		
	• Derecho a realizar variaciones	• Pago (701) / Variación de tasas (709)	
	• Ingeniería de Valor	• No se especifica.	
	• Procedimiento de variación	• Pago (701)	
	• Pago en monedas aplicables	• Moneda (102)	
	• Sumas provisionales	• No se especifica.	
• Día de trabajo	• No se especifica.		
	• Ajustes para cambios en la Legislación	• Cambio en la ley (710)	
	• Ajustes para cambios en el costo	• Pagos Adicionales (708)	

Rubros	Libro Rosa del FIDIC	Contrato a Tasa de Renta Diaria de la IADC <sup>6</sup>	Principales Diferencias en el Contrato IADC
Precio del Contrato y Pago	14. Precio del Contrato y Pago		<ul style="list-style-type: none"> <li>No se estipula el Adelanto de Pago.</li> <li>Se puede entregar la factura mensualmente y/o a la culminación de cada pozo.</li> <li>El Contratista tiene derecho a cesar el contrato ante la demora en los pagos.</li> </ul>
	• El precio del Contrato	• No se especifica.	
	• Adelanto de pago	• No se especifica.	
	• Aplicación de Certificados de Pago Parciales	• Facturas mensuales (801)	
	• Cronograma de pagos	• No se especifica.	
	• Planta y materiales que se quiere para las obras	• No se especifica.	
	• Emisión de Certificados de Pago Parcial	• No se especifica.	
	• Pago	• Pago (802)	
	• Pago demorado	• Pago (802)	
	• Pago de dinero retenido	• No se especifica.	
	• Declaración a la culminación	• No se especifica.	
	• Solicitud de Certificado de Pago Final	• Facturas mensuales (801)	
	• Descargo	• No se especifica.	
	• Emisión de Certificado de Pago Final	• No se especifica.	
• Cese de la Responsabilidad del Empleador	• No se especifica.		
• Monedas de pago	• Moneda (102) / Gastos en moneda local (806)		
Cese por parte del Empleador	15. Cese por parte del Empleador	• Tasa de Fuerza Mayor (707)	
Suspensión y cese por parte del Contratista	16. Suspensión y cese por parte del Contratista	• Cese (203) / Tasa de Fuerza Mayor (707) / Pago (802)	
Riesgo y Responsabilidad	17. Riesgo y Responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Artículo IX ó Responsabilidades</li> <li>El Agujero (902)</li> <li>Polución y Contaminación (905)</li> <li>Eliminación de escombros y Costo de Control (906)</li> </ul>	
Seguros	18. Seguros	• Artículo X ó Seguros	<ul style="list-style-type: none"> <li>Una de las partes hace los arreglos para el seguro conjunto dentro del contrato del FIDIC.</li> <li>Mientras tanto, cada parte hace los arreglos respectivos para seguros contra sus responsabilidades dentro del Contrato IADC. Cada parte le confirmará a la otra acerca del otro seguro.</li> <li>Existe un caso en el que se incluye a otra parte a solicitud de ésta.</li> </ul>
Fuerza Mayor	19. Fuerza Mayor		• Ambas partes tienen derecho a cesar el contrato
	• Definición de Fuerza Mayor	• Fuerza mayor (1303)	

Rubros	Libro Rosa del FIDIC	Contrato a Tasa de Renta Diaria de la IADC <sup>6</sup>	Principales Diferencias en el Contrato IADC
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aviso de Situación de Fuerza Mayor</li> <li>• Deber de minimizar la demora</li> <li>• Consecuencias de la Fuerza mayor</li> <li>• Fuerza mayor que afecta al Subcontratista</li> <li>• Cese, pago y liberación opcional</li> <li>• Liberación del cumplimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuerza mayor (1303)</li> <li>• No se especifica.</li> <li>• Tasa de Fuerza mayor (707)</li> <li>• No se especifica.</li> <li>• Tasa de Fuerza mayor (707)</li> <li>• Tasa de Fuerza mayor (707)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• si la fuerza mayor continúa por más de treinta (30) días.</li> </ul>
Reclamos, Disputas y Arbitraje	20. Reclamos, Disputas y Arbitraje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Notificaciones (1201)</li> <li>• Jurisdicción y Sede (110)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es específica procedimiento de reclamos alguno.</li> <li>• La disputa se resuelve finalmente en el tribunal de la jurisdicción.</li> </ul>

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Las diferencias principales entre las dos (2) condiciones de contrato, por medio de la comparación en el cuadro de arriba, son las siguientes.

En el Contrato a Tasa de renta Diaria de la IADC,

- 1) La responsabilidad del mantenimiento de la ruta de acceso la tiene el empleador.
- 2) No se nombra a una persona independiente (como el Ingeniero en el contrato FIDIC, quien lleva a cabo la administración del contrato y la supervisión en el sitio).
- 3) El empleador es responsable del trabajo del subcontratista.
- 4) No se exige garantía de cumplimiento.
- 5) No se exige dinero retenido.
- 6) No se especifica los daños por demoras.
- 7) No se especifica un período de notificación por defectos.
- 8) No se especifica cláusula de aceptación y toma de control alguna.
- 9) Las disputas se llevarán a un tribunal, no al arbitraje.

Tal y como se indicó en la comparación anterior, la asignación del riesgo al empleador en el contrato modelo de la IADC es mucho mayor que en el Libro Rosa del FIDIC. Asimismo, el contrato modelo de la IADC carece del nivel de detalle que se da en las estipulaciones de contrato, comparado con el Libro Rosa del FIDIC. En consecuencia, se señala que se requiere un grado considerable de rectificaciones o enmiendas y adiciones a las cláusulas de contrato, si es que se ha de usar un contrato modelo IADC para el Proyecto.

#### 4.2.5 Condiciones de Contrato utilizadas para el Proyecto financiado por Bancos Multilaterales de Desarrollo (BMD)

Se realizó un análisis a las condiciones del contrato utilizadas para un proyecto de energía geotérmica financiado por el Banco de Desarrollo Interamericano (BID). Las estipulaciones normales de este contrato se comparan con el Libro Rosa del FIDIC en el Cuadro 4.7.



**Cuadro 4-7 Comparación entre las Condiciones del Contrato Financiado por el BID y el Libro Rosa del FIDIC**

Categoría	Cláusula	Detalles	Libro Rosa del FIDIC	
			Sub- Cláusula correspondiente	Descripciones
Garantía	CG 18	Garantía de Adelanto de Pago	SC 14.2	Similar
		Garantía de cumplimiento	SC 4.2	La fianza de cumplimiento abarca estas dos garantías
		Fianza de garantía de calidad	SC 4.2	
Pago	CG16	<u>Adelanto de pago</u> 20% (la deducción se hará de cada pago parcial)	SC 14.2	Similar
		<u>Pago Parcial</u> - Adquisiciones: sobre la base de hitos - Construcción: sobre la base del volumen de trabajo	SC 14.3	Similar
Dinero retenido	CG 17	- Porcentaje de retención: 5% - Límite para el dinero retenido: 5%	SC 14.3 (c)	Similar
Subcontratistas	CG 12	- Se puede subcontratar algunas porciones del trabajo - Se le entregará al Empleador la lista de los Subcontratistas en un máximo de 7 días luego de la emisión de la Notificación de la Buena Pro o adjudicación (para su aprobación).	SC 4.4	Similar
Seguros	CG 14	- Seguro contra todo riesgo para el Contratista	SC 18.2	Similar
		- El Contratista adquirirá el seguro contra el riesgo y de responsabilidad civil del Empleador a nombre del Empleador y el Contratista	SC 18.3	
			SC 18.4	
Inicio de las obras	CG 36	En un plazo máximo de 10 días luego de la Orden de Inicio	SC 8.1	Similar
Programa de Ejecución del Trabajo	CE 30	En un plazo máximo de 10 días luego de la firma del Contrato (para su aprobación)	SC 8.3	No se requiere la aprobación del Empleador.
Recepción Final y Liquidación del Contrato	CG 24	- La certificación de la Recepción final se emitirá en un plazo máximo de 30 días luego de haber expirado el período de garantía. - Se le devolverá al Contratista la Fianza de Garantía de Calidad.	SC 11.9	Similar
Demoras y ampliaciones a los plazos o fechas límite	CG 19	- Se podría ampliar los plazos debido a Fuerza Mayor o caso fortuito. - Se requiere una notificación escrita en un plazo máximo de 7 días luego que se haya dado el evento que está causando la demora. Dicha ampliación se establecerá por medio de una Orden de Cambio.	SC 8.4	Similar
Órdenes de Cambio	CG 20	El Contratista no llevará a cabo obras no programadas sin la Orden de Cambio, excepto en una situación de emergencia.	SC 13.1	Similar
Suspensión	CG 27	- A la conveniencia del Empleador - Debido al incumplimiento del Contrato por parte del Contratista	SC 16.1	Similar

Categoría	Cláusula	Detalles	Libro Rosa del FIDIC	
			Sub- Cláusula correspondiente	Descripciones
		- Debido a Fuerza mayor		
Cese	CG 27 CG 28	- A la conveniencia del Empleador - Si el Contratista no recibe instrucciones dentro un plazo máximo de 30 días luego de la fecha de la suspensión.	SC 15.1 SC 15.2 SC 15.5 SC 16.2	Similar
Reclamos por daños	CG 11	- Notificaciones en un plazo máximo de 15 días luego de haberse producido el evento que ha causado la demora (No se considerará los reclamos entregados con posterioridad a la fecha límite o plazo arriba indicado) - Procedimiento para la solución de reclamos.  Paso 1: Solución amigable Paso 2: Arbitraje	SC 20.1	El Ingeniero es el primero que evalúa y determina los reclamos  Se entregará los Documentos sustentatorios en un plazo máximo de 42 días.
Disputas o controversias	CG 29 CG 30	- Procedimiento para la solución de disputas o controversias  Paso 1: Solución amigable Paso 2: Arbitraje	SC 20.5 SC 20.6	El Consejo de Disputas o Controversias emitirá su decisión en cuanto a alguna disputa o controversia antes de intentar lograr un arreglo amigable.
Sanción por demora simple	CG 25	- 0.5% por día - Monto máximo: 10%	SC 8.7	Similar

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Las condiciones del contrato para este proyecto no son ni del Libro Rojo ni del Libro Rosa del FIDIC; sin embargo, muchas de las estipulaciones importantes, tales como el procedimiento de pago, el manejo del avance de obras, los daños por demoras, los seguros, las pruebas a la culminación, el proceso de aceptación y toma de control, etc. son muy similares a las que se encuentran en el Libro Rosa del FIDIC. Se confirmó que condiciones del contrato similares al contrato FIDIC han sido utilizadas en proyectos financiados por MDB, aunque el contrato modelo de la IADC es popular en los proyectos de energía geotérmica en general.

Por otro lado, también se observó varias diferencias con el Libro Rosa del FIDIC, tales como:

- El Empleador, el Director de Proyecto, los Consultores, el Ingeniero, el Supervisor, etc. actúan como el supervisor de la Construcción dentro del alcance respectivo especificado dentro del Contrato. Sin embargo, a ninguno de ellos se le define obviamente como el supervisor independiente, como es el caso del Ingeniero en el Libro Rosado del FIDIC. Esto significa que al Empleador se le otorga mayor autoridad y discreción, en comparación con el Libro Rosa del FIDIC.
- Con relación a las condiciones físicas imprevisibles, el proceso de variación que se tratará con el Empleador a la notificación del Contratista, es similar al proceso que se ofrece en el Libro Rosa del FIDIC, aunque el Ingeniero le da instrucciones al Contratista a nombre del Empleador según el Libro Rosa del FIDIC. Sin embargo, ni la base específica de su aplicación ni su procedimiento se indican con claridad.
- No se brinda estipulación específica alguna en cuanto al ajuste al precio de contrato debido a la escalada de precios.
- En caso que el reclamo y la disputa o controversia no se resuelvan por medio de un proceso de solución amistosa, dicha disputa o controversia se llevará de inmediato al

arbitraje. En el Libro Rosa del FIDIC, los reclamos y disputas o controversias pueden ser resueltos por determinación del Ingeniero y la decisión del Consejo de Disputas o Controversias, antes de proceder al arbitraje.

#### 4.2.6 Condiciones del Contrato Aplicables al Proyecto

Las Condiciones del Contrato sugeridas para su aplicación en las obras de perforación del Proyecto serían las del Libro Rosa del FIDIC, por las siguientes razones:

- (1) Se utiliza el Libro Rosa del FIDIC como las condiciones de contrato para los Documentos de Licitación Estándar de JICA (Obras).
- (2) Los riesgos contractuales asignados al Empleador son considerablemente grandes dentro de los contratos modelo de la IADC, según se describe en el capítulo 4.2.4.
- (3) Aunque a menudo se utiliza los contratos modelo de la IADC para las obras de perforación petrolera, así como también en las obras de pozos geotérmicos, parece que en la mayoría de los casos se realizan extensas modificaciones a dichos contratos.
- (4) Existe un caso en que se utilizó condiciones del contrato similares al Libro Rosa del FIDIC para un proyecto de energía geotérmica financiado por los Bancos Multilaterales de Desarrollo (BMD), según se describe en el Capítulo 4.2.5.

Con relación al método de pago, se considera que el uso del contrato a tasa de renta diaria sea práctico para el Proyecto, según se expone en el Capítulo 4.1.6. Sin embargo, sería razonable introducir aquel concepto en el que el contratista toma la iniciativa del trabajo de perforación de manera proactiva y asume la responsabilidad del trabajo, más que la práctica dentro de los Contratos IADC en los que el empleador siempre le da instrucciones al contratista durante el trabajo de perforación y finalmente asume las consecuencias de las obras. Con esta práctica, la sobrecarga administrativa del empleador se reducirá y, por ende, la asignación de riesgos entre las partes del contrato se equilibrará adecuadamente.

Se llevará a cabo la idea arriba sugerida, por medio de la realización del siguiente procedimiento:

- 1) Preparación de los Documentos de Licitación
  - El Empleador (incluyendo a sus consultores) desarrolla la planificación de la construcción y el programa de trabajo, basándose en las condiciones del sitio que obtuvo en la perforación exploratoria.
  - El Empleador determina el tiempo para la culminación del trabajo de perforación, sobre la base de dicha planificación.
- 2) Licitación y Evaluación de la Licitación
  - El Empleador pone a disposición de los oferentes todos los datos y la información obtenida en la perforación exploratoria.
  - Los oferentes entregan en su propuesta, metodología y programa de trabajo para la perforación incluyendo los detalles de soporte necesarios.
  - El Empleador evalúa la capacidad de aplicación y lo razonable del plan de trabajo del oferente, comparándolos con el plan del Empleador. Si surge alguna duda, ésta se aclarará durante el período de evaluación de la oferta o se confirmará y se arreglará/ solucionará en la negociación del contrato.
  - El plan de trabajo del oferente constituye parte del contrato.
- 3) Construcción
  - Si el Contratista considera que las condiciones geológicas reales difieren de las preo condiciones que se utilizaron en su plan de trabajo, preparará una notificación al Ingeniero, de acuerdo con la Subó cláusula 4.12 "Condiciones Físicas Imprevisibles" del Libro Rosa del FIDIC.

- El Ingeniero examina las circunstancias reales y da las instrucciones necesarias, incluyendo las variaciones (por ejemplo: la suspensión del trabajo, cambios en el método de construcción, la implementación de trabajos de contramedida y/ o trabajos correctivos) con la previa aprobación del Empleador, de acuerdo con la Subó cláusula 13.1 òDerecho a Variarò del Libro Rosa del FIDIC.
- El Contratista tiene el derecho a recibir pagos adicionales y ampliaciones en los plazos para culminar su trabajo, como consecuencia de dicha variación.

### 4.3 Paquete del Contrato

El paquete del contrato recomendado para las obras de perforación de pozos del Proyecto se muestra en el Cuadro 4.8, considerando los siguientes factores:

- (1) La unidad ejecutora del proyecto no cuenta con suficiente experiencia en proyectos de energía geotérmica; por lo tanto, se prefiere números más pequeños de paquete de contrato, a fin de reducir el problema de interrelación entre los contratos y también reducir la sobrecarga administrativa de la unidad ejecutora.
- (2) Aquellos trabajos preparatorios, tales como la construcción de la plataforma de perforación, la construcción de la ruta de acceso y el sistema de suministro de agua se llevarán a cabo antes de la movilización del contratista de perforación, de tal modo que se acorte el período total del proyecto. Es mejor que el Contratista de la ruta de acceso realice el mantenimiento de la misma, de otro modo, el empleador tendrá que darle mantenimiento a la ruta de acceso de manera directa.
- 3) En principio, los materiales de perforación se comprarán por separado de las obras de perforación, a fin de minimizar los gastos generales fijos que se generan en una larga cadena de suministros. Al hacer esto, el empleador tendrá mayor control sobre la calidad de los materiales suministrados.
- (4) Con relación al contrato de suministro de materiales, se hará una oferta una sola vez; sin embargo, el oferente puede ofrecer todos o cualquiera de los artículos dentro del alcance total del suministro. Luego de la oferta, la unidad ejecutora examinará la combinación de proveedores más económica, de tal modo que se pueda adquirir los materiales dentro de múltiples paquetes de contratos. Adicionalmente, este método hace posible la adquisición directa de materiales de diversos fabricantes.
- (5) Las obras de perforación, incluyendo una variedad de obras y servicios relacionados, se llevarán a cabo dentro de un contrato de un solo paquete. El contratista principal será responsable de todas las obras, incluyendo las obras/ los servicios provistos por subcontratistas especializados. A modo de alternativa, en el contrato de las obras de perforación también se puede aplicar el òmétodo de una sola oferta y múltiples contratosò que se menciona en el punto 4) arriba.

**Cuadro 4-8 Paquetes de Contrato**

Categoría	Paquete No.	Alcance de Trabajo/Suministro	Licit. *1	Financ.	Remarks
A. Trabajos de Preparación	A1	Preparación de Plataforma para la Torre de Perforación	LCB	ENDE	• Debe incluirse la construcción de piscina de lodos, Podría excluirse si el Empleador decide contratar el Servicio de secado de recortes dentro del Paquete C.
	A2	Calle de Acceso (Construcción y Mantenimiento)	LCB	ENDE	• Los trabajos de mantenimiento pueden excluirse en caso que el Empleador tome estos trabajos.
	A3	Sistema de Suministro de Agua	LCB	ENDE	• El alcance de los trabajos cubre la perforación del pozo de agua y la instalación de los equipos de suministro de agua incluyendo: bomba sumergible, generador, tubería hasta la

Categoría	Paquete No.	Alcance de Trabajo/Suministro	Licit. *1	Financ.	Remarks
					torre de perforación y accesorios.
B. Suministro de Materiales	B	1. Materiales para Fluidos de Perforación: Bentonita, y Aditivos Químicos 2. Brocas 3. Tuberías de Revestimiento 4. Equipos de Cabezal y Accesorios: Válvulas Maestras Válvulas Laterales Cabezal de Tubería Carrete de Expansión etc. 5. Accesorios de Tuberías de Revestimiento: Zapatas. Collar Flotador Centralizadores, etc. 6. Otros.	ICB	Préstamo JICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los materiales de fluido pueden incluirse en el contrato con la Ingeniería en el Paquete C.</li> <li>• Se hará solamente una licitación; sin embargo, los oferentes podrán ofrecer todos o acualquier ítem dentro del alcance del suministro.</li> <li>• La agencia ejecutora evaluará la mejor combinación económica posible de los suministrantes, por lo que los materiales podrían comprarse bajo la modalidad de múltiples paquetes de contratos.</li> </ul>
C. Trabajos de Perforación con Servicios Asociados	C	1. Perforación (con suministro de la Torre de Perforación) 2. Perforación Direccional 3. Mud Logging: Control de Parámetros de Perforación y control geológico de Recortes. 4. Ingeniería de Lodos 5. Registros Eléctricos en el pozo (CBL, Caliper, etc.) 6. Corrida de Tubería de Revestimiento. 7. Renta de herramientas de pesca y servicio de pesca. 8. Renta de Herramientas de Perforación (aquellas que no se incluyen en los equipos de la Torre de Perforación). 9. Servicios de Extracción de Núcleos 10. Renta de Protectores de Tubería no Rotativos (en caso que se requiera) 11. Transporte de Materiales de Perforación al Sitio desde la Bodega de Almacenamiento (si es requerido) 12. Servicios de Secado de Recortes (Manejo de recortes y lodos) 13. Otros	ICB	Préstamo JICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Contratista Principal será responsable de todos los trabajos, incluyendo trabajos/ servicios especiales provistos por subcontratistas.</li> <li>• Como alternativa, el método de una sola licitación y múltiples contratos sugerido arriba para el Paquete B, puede aplicarse al contrato de trabajos de perforación también.</li> <li>• La ingeniería de lodos puede incluir los Materiales de Fluidos de Perforación o la Ingeniería puede incluirse en el contrato de suministro de materiales de fluidos dentro del Paquete B.</li> </ul>

Note (\*1): LCB: Licitación Local (Local Competitive Bidding)  
ICB: Licitación Internacional (International Competitive Bidding)

#### 4.4 Rectificación del Contrato y Conformidad de JICA

Por lo general, el siguiente artículo se menciona en el acuerdo de préstamo entre JICA y el prestatario, el cual exige que el prestatario obtenga la previa conformidad de JICA para las modificaciones al contrato de importancia y los cambios en el precio del contrato.

*“Cualquier modificación o cancelación de algún contrato revisado por JICA requerirá la previa conformidad por escrito de JICA a la misma; sin embargo, siempre y cuando se*

*produzca cualquier cambio que no constituya una modificación de importancia al contrato y que no afecte el monto del contrato, entonces no se requerirá la conformidad de JICA”.*

Sin embargo, el precio del contrato a precio unitario con frecuencia es fluctuante, debido a las siguientes razones:

- 1) Desvío de la cantidad estimada dada en la Lista de Cantidades.
- 2) Cantidad de trabajo adicional o reducida debido a la variación
- 3) Ajuste del precio del contrato, según la escalada de precios
- 4) Costos adicionales que surgen de los reclamos del Contratista.

Incluso dentro del contrato de precios a suma global, el cambio en el precio del contrato es inevitable si se dan los puntos 2), 3) y/ o 4) arriba indicados.

Mientras tanto, según la Subcláusula 3.1, el Ingeniero no recibe la autoridad para rectificar el contrato, pero tiene la autoridad para darle instrucciones al Contratista para realizar variaciones, de acuerdo con la Subcláusula 13.1.

### *3.1 Obligaciones y Facultades del Ingeniero*

*El Ingeniero no tendrá la potestad de modificar el Contrato.*

#### *13.1 Derecho a Variar*

*El Ingeniero podrá iniciar Variaciones en cualquier momento antes de que se emita el Certificado de Recepción de Obra para las Obras, bien sea mediante una orden o una solicitud dirigida al Contratista para que presente una propuesta.*

Aparentemente, estas subcláusulas son contradictorias; sin embargo, se puede interpretar que los cambios en el precio del contrato y el tiempo para la culminación, debido a la variación, no constituyen una rectificación del Contrato, porque las instrucciones para realizar variaciones están especificadas en el Contrato.

## CAPÍTULO 5 Reunión con ENDE y Seminarios

El equipo de estudio visitó Bolivia del 14 al 30 de Mayo de 2015, se tuvieron reuniones con ENDE y se realizaron dos seminarios para ENDE con el objetivo de transmitirles un mejor entendimiento de las Condiciones de Contratos para la Perforación de Pozos y los Temas Técnicos del Campo Geotérmico de Laguna Colorada.

El estudio en el sitio fue llevado a cabo por los siguientes miembros del Equipo de Estudio de JICA. Además, el Sr. Saúl MOLINA PADILLA, encargado del Estudio de la Tendencia de Mercado, realizó entrevistas con las compañías de perforación en Santa Cruz durante el período del 8 ó 21 de Febrero de 2015.

Miembro	Posición
Mr. Yukinobu HAYASHI	Líder del Equipo/ Contratación
Mr. Yasushi MOMOSE	Geólogo
Mr. Saúl MOLINA PADILLA	Estudio de la Tendencia de Mercado
Mr. Tubasa AINOYAMA	Ingeniero de Perforación

**Cuadro 5-1 Itinerario del Estudio en el Sitio**

Fechas	Programa	Ciudad	TL/Especialista en Contratos	Estudio de Tendencia de Mercado de Empresas de Perforación	Especialista en Perforación de Pozos	Geólogo
			Nobuyuki HAYASHI NK	Saul Padilla NKLAC	Tsubasa AINOYAMA GEO-E	Yasushi MOMOSE NK
15-Mar	Dom	La Paz	Arribo a La Paz			
16-Mar	Lun	La Paz	Por la tarde: Reunión con JICA en Oficina de Bolivia			
17-Mar	Mar	Cochabamba	Por la mañana: Reunión con ENDE			
18-Mar	Mié	La Paz	Por la tarde: Seminario 1 (Normas de préstamo JICA ODA, Proceso de Contratación, etc. (Guías Generales de Contratación)). En tránsito a La Paz			
19-Mar	Jue	ENDE Camp	En tránsito al Sitio: Laguna Colorada			
20-Mar	Vie	Uyuni	Inspección del Sitio: Laguna Colorada			
21-Mar	Sáb	Uyuni	Preparación de Seminario			
22-Mar	Dom	Sta Cruz	En tránsito a Sta. Cruz.			
23-Mar	Lun	Sta Cruz	Entrevistas (Compañías de Perforación de Pozos)			
24-Mar	Mar	Sta Cruz	Entrevistas (Compañías de Perforación de Pozos)			
25-Mar	Mié	Cochabamba	Preparación de Seminario			
26-Mar	Jue	Cochabamba	Seminario 2 (resultados del estudio, Mercado de Compañías de Perforación en Bolivia, Tipo de Contrato recomendable, Aspectos Técnicos, etc.)			
27-Mar	Vie	La Paz	Reunión con JICA en Oficina de Bolivia			
28-Mar	Sáb	Uyuni	En tránsito a La Paz			
29-Mar	Dom		En tránsito a Japón/Elsalvador			
30-Mar	Lun		Arribo en Tokyo			

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

### 5.1 Primer Seminario

El propósito principal del Primer Seminario fue desarrollar un mejor entendimiento del proceso de adquisición. El contenido de los seminarios incluyó una introducción de los préstamos estándar ODA de JICA, esto es porque ENDE no está familiarizado con su proceso de adquisición. El material de los seminarios se muestra en el Apéndice 3.

El primer seminario se realizó con 11 empleados de ENDE en un salón de reuniones de ENDE ANDINA desde las 9:00 a 13:00 h del 18 de Mayo de 2015. El programa del Primer Seminario se muestra abajo.



1er Seminario,  
18 de Mayo

#### Programa del Primer Seminario

1. Introducción
2. Principales Suministros bajo Préstamos ODA de JICA
3. Proceso de Suministro
4. Contrato Tipo FIDIC y Documentos de Licitación Estandar de JICA
5. Obligaciones del Empleador según el Libro Rosa FIDIC
6. Obligaciones del Contratista según el Libro Rosa FIDIC
7. Roles y Obligaciones del Ingeniero según el Libro Rosa FIDIC
8. Resolución de Reclamos y Disputas
9. Aspectos Importantes del Contrato
10. Contratos de Perforación Tipo IADC
11. Discusiones

## 5.2 Segundo Seminario

El Segundo Seminario se realizó para explicar los resultados del estudio, y el tipo de contrato recomendado para ser utilizado en el Proyecto, y tener una discusión con ENDE, los materiales usados para el segundo seminario se anexan en el Apéndice 3.

El Segundo Seminario se llevó a cabo con 13 empleados de ENDE en un salón de reuniones de ENDE ANDINA de las 9:00 a 13:00 h del 26 de Mayo de 2015. El programa del Segundo Seminario se muestra abajo.

#### Programa del Segundo Seminario

1. Estudio de Mercadeo de Compañías de servicios de Perforación
2. Resultados de Revisión técnica del campo Geotérmico de Laguna Colorada
3. Contrato de Perforación adecuado para el Proyecto
4. Discusiones



## CAPITULO 6 Conclusiones y Recomendaciones

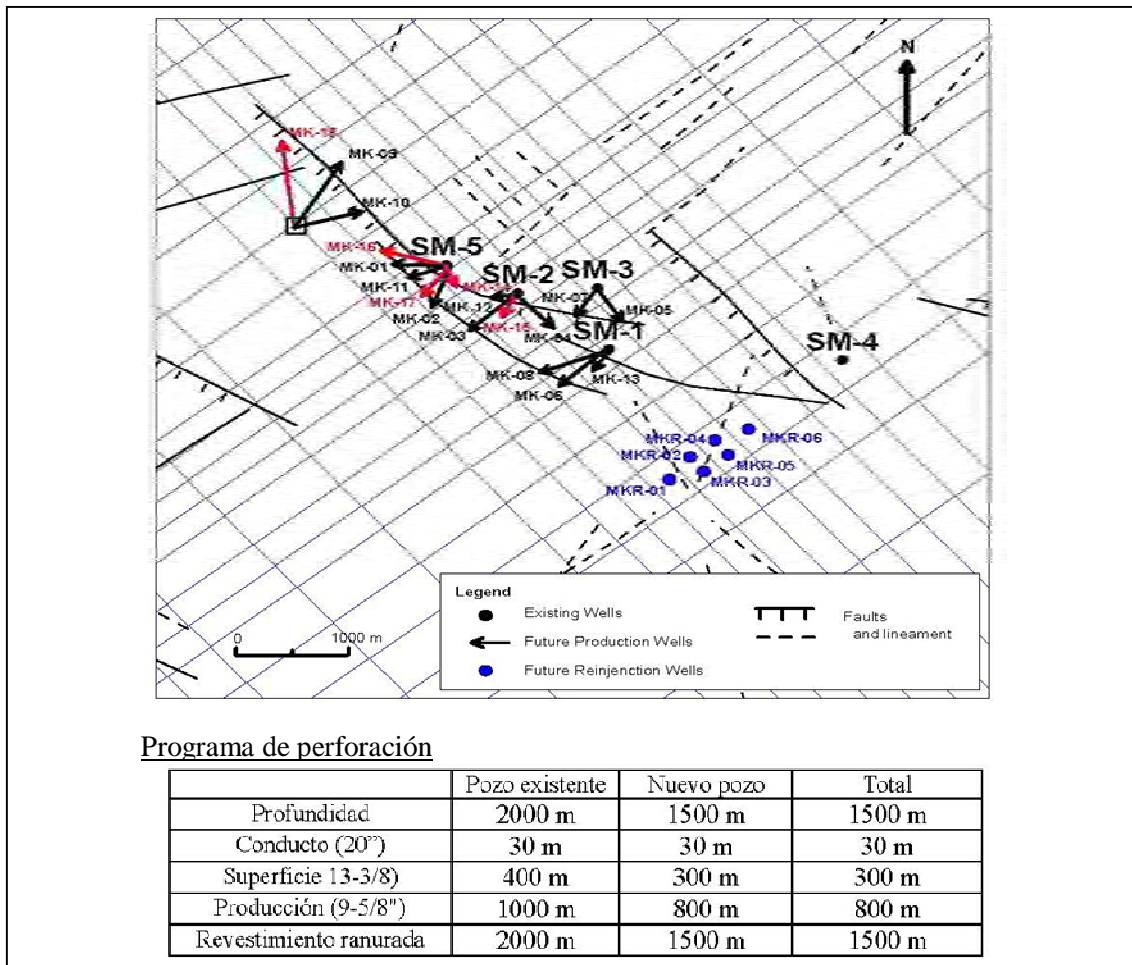
### 6.1 Objetivos de la Perforación

#### (1) Evaluación de los Objetivos de Perforación

Para la evaluación de los objetivos de perforación, el modelo geotérmico fue revisado basado en los resultados de la revisión de la información geológica y geoquímica, resultados de los estudios geofísicos, pruebas de los pozos y pruebas de producción.

- Este estudio interpretó los mapas de resistividad en 3D (CGG, 2013) por medio de la integración de toda la información disponible, y se revelaron las distribuciones de fallas que controlan el flujo y distribución del fluido geotérmico y la profundidad de la capa superior de rocas y el reservorio potencial existente.
- El modelo conceptual revisado no es diferente del modelo existente preparado por JETRO (2008) en el concepto básico de la estructura geotérmica, fuente de calor geotérmico. El diseño conceptual existente de los nuevos pozos (el área de interés de perforación) se ha evaluado de manera razonable.
- Sin embargo, los diseños detallados de los objetivos de perforación, programa de tuberías de revestimiento y ubicación de los cabezales no han sido determinados todavía. Focalización detallada de los objetivos de perforación y planificación de trabajo es necesario para el establecimiento de los nuevos pozos (4 pozos productores y 3 reinyectores) en el Proyecto de Construcción de la Planta Geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Etapa 1).

La información disponible relacionada con los objetivos de perforación y el programa de tuberías de revestimiento se muestran en la Figura 601. Este plan de perforación fue utilizado para la simulación geotérmica en el reporte de JICA (2010).



Fuente: JICA (2010)

**Figura 6–1 Plan de Perforación de los Nuevos Pozos**

**(2) Consideraciones para el Diseño Detallado de los Objetivos de Perforación**

Las consideraciones para el diseño detallado de los objetivos de perforación se describen a continuación:

- (a) La profundidad de las fracturas productivas no es posible determinarlas de forma precisa debido a que se perforó de forma ciega (la perforación en esta zona se desarrolló con pérdidas totales de circulación) profundidades muy largas según como se menciona en los reportes de perforación.

Lo anterior se muestra en los Cuadros 365 al Cuadro 3610. Por lo tanto, ante esta situación, los objetivos de perforación no pueden ser determinados de forma precisa. Las siguientes secciones son probablemente los objetivos de perforación, los cuales alcanzan varios cientos de metros.

**Sección de Producción de Pozos Existentes (Longitud)**

SM61	738 m	1178.5 m (440.5 m)
SM62	606 m	1486.5 m (880.5 m)
SM63	731 m	1406.0 m (675.0 m)
SM64	681.3 m	1726.2 m (1044.9 m)
SM65	878.3 m	1705.0 m (826.7 m)

Según los resultados de la revisión a los registros PTS (Apéndice 2), se identificó dos porciones de posibles zonas de fractura. Ya que los datos originales no estuvieron disponibles en el presente estudio, el equipo de estudio leyó los valores en las copias de los registros PTS. Las profundidades de las zonas de fractura no son exactas. Más aún, probablemente se identifique otras posibles fracturas por medio de la interpretación de los datos originales del PTS.

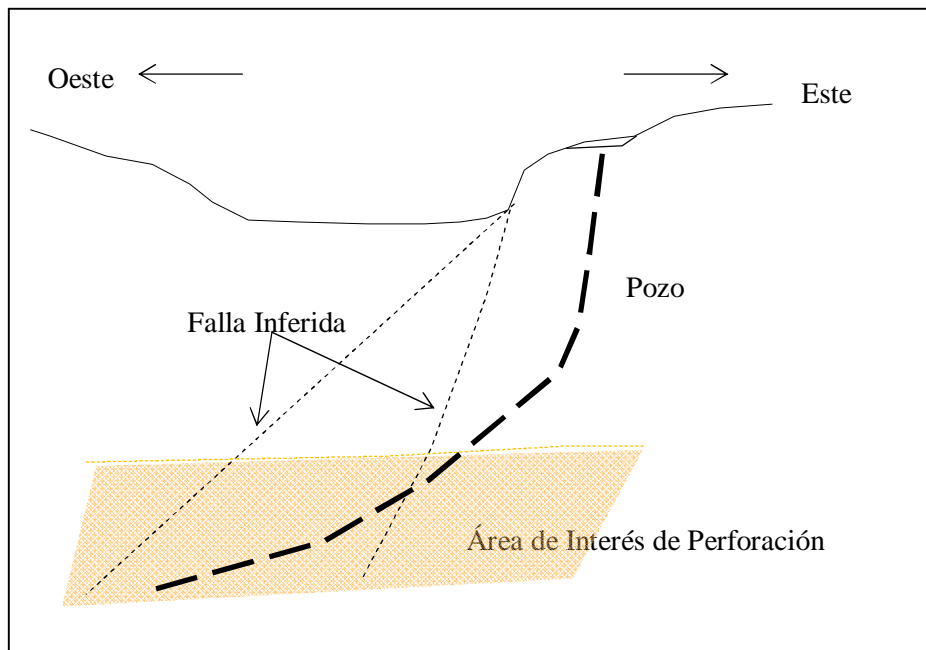
### Posibles Zonas de Fractura

SM63, 1275 m de profundidad discontinuidad de los datos en la turbina giratoria (spinner).

SM64, 1520 m de profundidad se reduce significativamente en la tasa de rotación en la turbina giratoria (spinner).

(b) La falla de los objetivos de perforación podría tender suavemente hacia el Oeste.

El objetivo en la falla OEO6ESE se infirió como un tipo de falla normal que se profundiza con una inclinación hacia el Oeste en los reportes anteriores. Sin embargo, no hay evidencias, tales como información de observaciones geológicas de fallas en afloramientos ni en los reportes de los pozos existentes. Las propiedades de las fallas, estructurales y mecánicas son desconocidas todavía. Los pozos nuevos van a buscar el plano de la falla desde los puntos de inicio planeados, los cuales posiblemente no alcance el plano como se muestra en la Figura 6-2.



Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Figura 6-2 Imagen del Objetivo de Perforación y Falla Inferida

(c) Información Disponible para los Pozos de Reinyección es muy Poca

En comparación con los datos de los pozos de producción, la información de los pozos de reinyección es muy poca. De acuerdo con los resultados de los registros eléctricos de resistividad y los estudios MT, de los análisis topográficos, una falla es inferida cercana al pozo de reinyección. Aunque, la distribución de la falla y su permeabilidad permanece desconocida todavía.

### (3) Análisis/ Interpretación Recomendada para Determinar los Objetivos de Perforación

Los siguientes estudios son recomendados realizarse para obtener los datos necesarios para determinar los objetivos de la perforación.

(a) Interpretación de los datos originales PTS

No se tuvo acceso a los datos originales PTS en este estudio. La interpretación de estos datos podría ayudar a determinar la profundidad de las fracturas productivas.

- (b) Análisis alternativo de cambiar la ubicación de los pozos hacia el Oeste desde la posición original

Cambiar la ubicación de los pozos hacia el Oeste podría ser una solución para alcanzar la falla del objetivo de perforación. Para la ubicación del pozo debe considerarse los impactos ambientales, también.

- (c) Interpretación del pozo existente SM64 y reevaluación de los datos la resistividad eléctrica del plan de perforación de los pozos de reinyección.

El pozo existente SM64 esta localizado relativamente cerca a los pozos de reinyección planeados. Los datos de reinyección del pozo SM64 durante las pruebas de producción serían buenas referencias para el plan de los pozos de reinyección. La reevaluación de los datos de resistividad eléctrica serán muy útiles.

#### **(4) Diseño Detallado de los Objetivos de Perforación**

Considerando la interpretación/análisis recomendado anteriormente, es necesario preparar las especificaciones técnicas de los nuevos pozos (4 pozos productores y 3 pozos reinyectores) para el Proyecto de la Planta Geotérmica Laguna Colorada (Fase 1 de la Etapa 1). Para completarlos, el diseño detallado de los objetivos de perforación requerirá cerca de 3 meses.

- Ubicación de los pozos, objetivos de perforación
- Programa de Tuberías de Revestimiento
- Diseños para las Especificaciones Técnicas
- Programa de Trabajo

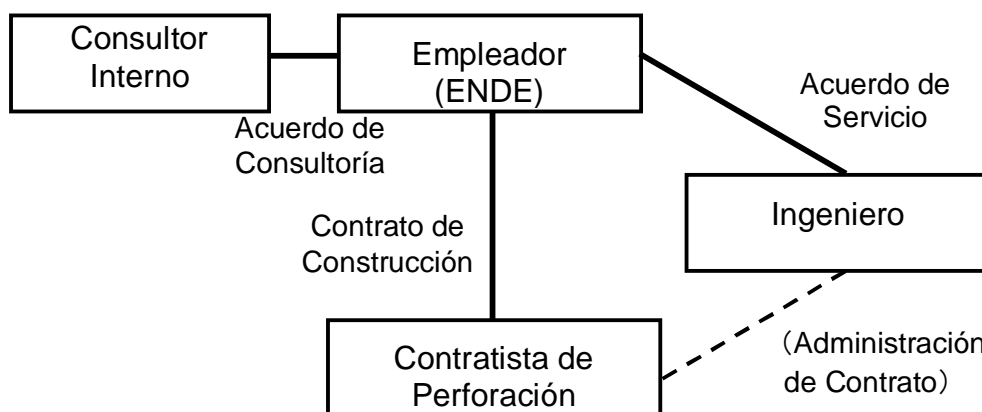
## **6.2 Reforzamiento de la Estructura Organizacional para el Manejo de la Construcción**

El Proyecto avanza hacia la etapa de la adquisición de un Contratista y su subsiguiente construcción. Se requiere el establecimiento de una fuerte estructura organizacional para el manejo de la construcción en el lado del empleador, a fin de asegurar una implementación del Proyecto rápida y sin complicaciones. Para el diseño de la estructura, se debe tomar en consideración los siguientes puntos:

- 1) No se ha implementado el desarrollo de un pozo geotérmico, excepto para la perforación exploratoria del Proyecto, la cual se llevó a cabo entre finales de la década de 1980 e inicios de la década de 1990. Por lo tanto, ENDE no cuenta con suficiente experiencia y las tecnologías necesarias en las obras de perforación de pozos.
- 2) Según se trató en el capítulo 4.1.6, parece práctico aplicar el òpago de tasa de renta diaria para el Proyecto, el cual es el método más comúnmente usado en la industria de la perforación de pozos geotérmicos (y petroleros). En este caso, la estrecha supervisión a la construcción por parte de ENDE es muy importante para brindar instrucciones y órdenes de cambio apropiadas al Contratista y evitar pagos extra causados por el lento avance del trabajo debido a faltas de parte del Contratista.
- 3) Según se trató en el capítulo 4.2.6, se sugirió que las Condiciones de Contrato a aplicarse a las obras de perforación del Proyecto fueran las del Libro Rosa del FIDIC, el cual se utiliza en los Documentos de Licitación Estándar de JICA (Obras), y se hace necesario el nombramiento del Ingeniero, quien será responsable de la administración del contrato de obras. El Ingeniero lleva a cabo la supervisión a la construcción, según se describe en el punto 2 (ver arriba).
- 4) ENDE se encuentra en el proceso de adquisición de un consultor con el préstamo AOD

de JICA. El Consultor prestará sus servicios como consultor interno de ENDE y le proveerá asesoría técnica. El alcance del trabajo no requiere que el Consultor actúe como el Ingeniero dentro del contrato del FIDIC, quien dará instrucciones al Contratista de manera directa y emitirá diversos certificados a las partes del Contrato. Más aún, los aportes del Consultor, en lo que respecta a mesos hombre no serán suficientes para cubrir todas las tareas a ser realizadas por el Ingeniero.

Según lo arriba examinado, es necesario emplear al Ingeniero para el refuerzo de la capacidad del manejo o la gerencia de la construcción y también para cumplir con el marco organizacional dentro del Libro Rosa del FIDIC. En consecuencia, se propone seleccionar y nombrar al Ingeniero antes del inicio de las obras de perforación en el sitio. La estructura organizacional conceptual durante la etapa de la construcción es la que se indica en la Figura 6 ó2.



Fuente: Equipo de Estudio de JICA

**Figura 6–3 Estructura Organizacional durante la Etapa de la Construcción (Conceptual)**

Como una alternativa a la propuesta de arriba (nombramiento del Ingeniero bajo el Libro Rosa del FIDIC) se concibe incluir la función y el rol del Ingeniero en la tarea de consultor interno con un equipo de consultoría de refuerzo.

El Libro Rosa del FIDIC obliga al Ingeniero a obtener la aprobación previa del Empleador antes de tomar algunas de sus acciones dentro de la Subócláusula 3.1 y tales acciones incluyen la determinación del reclamo de parte del Contratista dentro de la Subócláusula 4.12 Condiciones Físicas Imprevisibles y las instrucciones para variaciones dentro de la Subócláusula 13.1 Derecho a Variar.

### 3.1 Deberes y Autoridad del Ingeniero

*El Ingeniero obtendrá la aprobación específica del Empleador antes de realizar cualquier acción dentro de las siguientes Sub-cláusulas de las presentes Condiciones:*

- (A) *Sub-cláusula 4.12: acordar o determinar una ampliación de tiempo y/ o costo adicional.*
- (B) *Sub-cláusula 13.1: Instruir una variación, excepto:*
  - (i) *En una situación de emergencia, según lo determine el Ingeniero, o*
  - (ii) *Si dicha variación incrementara el Monto Aceptado del Contrato en un porcentaje menor al especificado en los Datos del Contrato.*
- (C) *Sub-cláusula 13.3: Aprobar una propuesta para variar entregada por el Contratista, de acuerdo con las Sub-cláusulas 13.1 o 13.2*
- (D) *Sub-cláusula 13.4: Especificar el monto a pagar en cada una de las monedas aplicables.*

Esto significa que ENDE necesita contar con el conocimiento técnico y la experiencia, a fin de

emitir la aprobación o la desaprobación a la acción del Ingeniero. Por lo tanto, en los casos donde el Consultor hace las funciones del Ingeniero, se requerirá el despliegue de expertos técnicos que apoyen a ENDE.

### 6.3 Consideraciones para los Paquetes de Contratos

Los paquetes de contratos recomendados para los trabajos de perforación se componen de: trabajos preparatorios, suministro de materiales, servicios de perforación y servicios complementarios de perforación.

#### (1) Trabajos Preparatorios

Los trabajos preparatorios incluyen, tanto los trabajos de construcción como los de mantenimiento de plataformas de perforación, caminos de acceso y sistema de suministro de agua para la perforación. Se recomienda que la entidad ejecutora realice las actividades mencionadas a continuación, como parte de los trabajos preparatorios a fin de minimizar el cronograma de los trabajos de perforación, aunque estos trabajos también podrían ser realizados por el contratista de perforación. Los detalles relacionados con las especificaciones y el área de los trabajos preparatorios, deben determinarse en base a estudios topográficos en la etapa de diseño de detalle.

- Tener listas las plataformas de perforación antes de iniciar los servicios de perforación. Las plataformas requieren un área aproximada de 5,000 m<sup>2</sup>. Se tiene planeado construir dos plataformas nuevas para pozos de producción, cercanas a las plataformas existentes de los pozos SM62 y SM65 y una plataforma para pozo de reinyección localizada a unos 2 km al Sureste de la plataforma del pozo SM62, aproximadamente. Las ubicaciones de estas plataformas dependen de la revisión de los resultados de las nuevas perforaciones y pruebas de los pozos. Es recomendable que los trabajos preparatorios de las plataformas sean realizados individualmente, previo a los trabajos de perforación en cada sitio. Y deben estar concluidas antes del comienzo de los servicios de perforación de cada pozo.
- Mantener en buenas condiciones los caminos de acceso. Para el transporte de los equipos de perforación se necesita que los caminos de acceso tengan, al menos, 4 metros de ancho. Se requiere que los caminos tengan cerca de 10 cm de grava para mejorar algunas secciones que se encuentren dañadas. De acuerdo a lo que se pudo observar durante el reconocimiento del sitio en este estudio, la mayoría del camino de acceso entre la ciudad de Uyuni y el sitio del proyecto, está en buenas condiciones. Aunque no se debe olvidar que en este camino se encuentran varios puntos de cruce de ríos, los cuales requerirán atención. Particularmente, la implementación de trabajos son necesarios en un tramo de aproximadamente 18 km a lo largo del camino de acceso, con mayor precisión entre los puntos: S 21° 51' 15.8" O 67° 30' 45.8" y S 21° 59' 25.7" O 67° 34' 1.7". La entidad ejecutora será el responsable de la reparación de los caminos de acceso, en caso que estos sean obstruidos por cualquier circunstancia que ocurra, tales como: inundaciones, deslizamientos de tierra o de nieve, etc. durante la ejecución del proyecto.
- Además, se necesita que el suministro de agua sea suficiente para cubrir las necesidades de los trabajos de perforación de los pozos geotérmicos. Se estima que el total de agua requerida es de aproximadamente 40 L/s como máximo, para mantener las operaciones de perforación de un pozo profundo de forma continua, sin tener paros por falta de agua, lo cual podría ocasionar retrasos en el cronograma. En el caso que se tengan dos equipos de perforación trabajando en paralelo para acelerar el proyecto, el consumo de agua podría duplicarse hasta alcanzar un total de aproximadamente 80 L/s como máximo. Con el avance del proyecto, lo más probable es que el suministro de agua desde los pozos someros tienda a disminuir. Por lo tanto, la entidad ejecutora deberá calcular adecuadamente la cantidad de pozos necesarios para asegurar que el agua no falte, a fin de evitar que ocurran retrasos en las operaciones de perforación, tomando en cuenta que, si es necesario, deberán perforarse pozos someros adicionales para mantener el suministro adecuado.

## (2) Suministro de Materiales y Trabajos de Perforación con los Servicios Complementarios

En el Cuadro 661 se muestra una comparación entre, llevar adelante un proceso de contratación considerando un solo paquete de contratos (incluyendo materiales, servicios de perforación y servicios complementarios de perforación) y realizar un proceso de dos paquetes de contratos (separando la compra de materiales de perforación de los servicios de perforación y complementarios).

**Cuadro 6-1 Comparación de Paquetes de Contratos**

Ítems	2 Paquetes	1 Paquete
1. Control de Calidad		
Control de Calidad, realizado por la entidad ejecutora* <sup>1</sup>	✓	
2. Control de Cronograma de Perforación		
Evita retrasos en los períodos de perforación si se tienen los suministros con anterioridad a los trabajos de perforación	✓	
Evita retrasos de los trámites de la entidad ejecutora en el cronograma de perforación causados por falta de materiales de perforación		✓
Flexibilidad en cambiar las cantidades debido al diseño de nuevos pozos	✓	
3. Control de Costos		
Minimiza los sobrecostos	✓	
Busca la combinación más económica de proveedores, que permita comprar los materiales de perforación mediante múltiples contratos	✓	
4. Reducción de Gastos Administrativos		
Reducción de trabajos administrativos		✓
Riesgo de problemas causados por la falta o por el exceso de materiales de perforación		✓

Nota: ✓: Adecuado

\*<sup>1</sup>: En un solo Paquete de Contratos, es difícil tener el control total de la calidad en los materiales adquiridos por el Contratista de Perforación, incluso cuando se ha entregado las especificaciones de los materiales, debido a que los contratistas de perforación, probablemente, tengan la intención de reducir costos lo cual podrá causar degradación de los materiales.

Los paquetes de contratos deben ser determinados sobre la base de comparación de los efectos que se tendrían al decidir cómo preparar los paquetes. Como se muestra en el Cuadro 661, la propuesta de dos paquetes de contratos sería la más conveniente para la entidad ejecutora para poder tener control en la calidad, cronograma y costos. En el control del cronograma, el contrato de un solo paquete de contrato podría evitar los riesgos de retrasos causados por los trámites de la entidad ejecutora, sin embargo, los trabajos de perforación están siempre sujetos a la revisión de los resultados del análisis de los datos que se obtengan de los nuevos pozos perforados, las revisiones de los suministros de materiales de perforación causados por el cliente (en este caso la entidad ejecutora) durante los trabajos de perforación podrían convertirse en reclamos por parte del contratista de perforación. Esto podría causar grandes impactos en el desarrollo del cronograma de perforación, posiblemente paros que afecten directamente el cronograma.

En un proceso de contratación de dos paquetes de contratos, la entidad ejecutora tiene la responsabilidad de suministrar todos los materiales de perforación, por lo que las especificaciones técnicas deberán ser cuidadosamente preparadas y se deberá realizar inspección cuidadosamente después de la entrega, para evitar problemas durante la ejecución de los trabajos de perforación.

Fin del documento

## CAPÍTULO 7 Referencias

- CGG Massy, France, 2013. MT data inversion report, unpublished (Reporte de Datos de Inversión MT, no publicado)
- Delgadillo y Puente, 1998. The Laguna Colorada (Bolivia) Project: A Reservoir Engineering Assessment (Proyecto Laguna Colorada (Bolivia): Evaluación de la Ingeniería de Reservoirio)
- Di Paola M.; Luccioli F.; Rico Calderon G., 1990. Geothermal Feasibility Study of Laguna Colorada ó Bolivia, (Geothermal Resources Council, vol.14, Part II, pp 867 ó 872) (Estudio de Factibilidad de Laguna Colorada ó Bolivia)
- ENDE, 1986. Sección C Investigación gravimétrica, 1986 Informe Geofísico, pp.34643.
- ENDE, 1994. Proyecto Geotérmico Laguna Colorada Ampliación de Perforaciones Geotérmicas ó Profundización del Pozo Sol de Mañana ó 4 (SM ó 4)
- ENDE, 1994. Proyecto Geotérmico Laguna Colorada Ampliación de Perforaciones Geotérmicas ó Profundización del Pozo Sol de Mañana ó 5 (SM ó 5)
- ENEL, 1987. Application of Isotope and Geochemical Exploration in the Latin American Region (Aplicación de Isotopos y Exploración Geoquímica en la Región de América Latina)
- ENEL, 1989. Estudio de Factibilidad Geotérmica en el área de Laguna Colorada ó Informe sobre el Pozo Sol de Mañana 1
- ENEL, 1989. Estudio de Factibilidad Geotérmica en el Área de Laguna Colorada ó Informe sobre el Pozo Sol de Mañana 2
- ENEL, 1989. Estudio de Factibilidad Geotérmica en el Área de Laguna Colorada ó Informe sobre el Pozo Sol de Mañana 3
- ENEL, 1990. Estudio de Factibilidad Geotérmica en el Área de Laguna Colorada ó Informe sobre el Pozo Sol de Mañana 4
- Estudio Geológico de Japón, 2004. CD ó ROM de la Gravedad de Japón Ver. 2, mapa geológico digital P ó 2
- JETRO, 2008. Estudio de Factibilidad para la Construcción de la Planta Geotermoeléctrica de Laguna Colorada, Potosí, Bolivia
- JICA, 2010. Estudio Preparatorio para el Desarrollo Geotérmico de Laguna Colorada (Sol de Mañana), Informe Final
- JICA, 2013. Proyecto Preparatorio para el Proyecto Construcción de la Central Geotérmica de Laguna Colorada, Informe Final
- NEDO, 1984. Informe del estudio de la promoción del desarrollo geotérmico No. 3, área de Kurino ó Tearai (en japonés).
- NEDO 2003. (3er.) Informe del estudio de la promoción del desarrollo geotérmico del AF 2002 No.C ó 4, área de Shiramizugoe, evaluación de recursos (en japonés)
- Takakura S., 2014. Verificación de la efectividad del método audioó magneto telúrico para la exploración geotérmicaó sobre la base de su experimento demostrativo en el yacimiento geotérmico Ogiri, Kagoshima, Japón, Sociedad de Investigación Geotérmica de Japón, Vol. 36, No. 1, pp. 21631 (en japonés).