

Declinación de la producción del pozo E-54 en el campo geotérmico de Cerro Prieto a causa de la incrustación

Juan de Dios Ocampo Díaz¹, Jesús De León Vivar² y Andrés Pelayo Ledezma²

¹Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería Mexicali, Blv. Benito Juárez, s/n, C.P. 21900, Unidad Universitaria, Tel (686) 566-4270 ext. 1329, E-mail: juandios@telnor.net

²Comisión Federal de Electricidad, Residencia General de Cerro Prieto, Baja California, Tel. (686) 523-8138, (686) 523-8180, E-mail: jesus.deleon@cfe.gob.mx, andres.pelayo@cfe.gob.mx

Resumen

Los fluidos geotérmicos del campo de Cerro Prieto son altamente incrustantes. El pozo E-54 estuvo en producción durante más de catorce años, dejando de producir debido principalmente a problemas de incrustación tanto en el interior de su tubería de producción como en las rocas del yacimiento de su periferia inmediata. Después de su reparación el pozo ha vuelto a producir, aunque no en las mismas condiciones originales. Se analiza el proceso de incrustación en este pozo, revisando los aspectos termodinámicos y geoquímicos, a fin de definir de manera más precisa la forma en que ocurre el proceso y sus causas.

Palabras clave: Incrustación, producción de vapor, pozo E-54, Cerro Prieto, México.

Production drop from scaling of well E-54 at the Cerro Prieto geothermal field

Abstract

Geothermal fluids in the Cerro Prieto geothermal field are highly mineralized, leading to scaling. The well E-54, producing fluids for more than 14 years, stopped producing mainly due to scaling problems in the production casing and the reservoir rocks immediately surrounding it. After repairs, the well was returned to production with lower flow than the original. In this paper, the scaling process in the well is analyzed and the thermodynamic and geochemical aspects are reviewed to define more accurately how and why scaling occurs.

Keywords: Scaling, steam production, well E-54, Cerro Prieto, Mexico.

1. Introducción

El campo geotérmico de Cerro Prieto se ubica en la planicie aluvial del Valle de Mexicali, 30 km al sureste de la ciudad de Mexicali, Baja California, destacando como rasgos geográficos el Volcán Cerro Prieto que alcanza una elevación de 260 m (Fig. 1). El campo de explotación cubre una superficie aproximada de 15 km², y es considerado como el mayor de acuerdo a sus características de líquido dominante y temperaturas superiores a 300° C (Truesdell *et al.*, 2003). Se localiza geológicamente dentro del patrón tectónico de San Andrés, entre cuyas fallas destacan la Imperial y Cerro Prieto de orientación NW-SE y movimiento lateral derecho, considerándose que estas controlan el flujo de los fluidos hidrotermales que son generados por la transferencia de calor desde una probable zona de ascenso magmático (Gutiérrez-Negrín y Quijano-León, 2003).

La producción promedio de vapor de alta presión y agua en cada una de esas áreas para el año 2003 se presenta en la Tabla 1. El flujo total de vapor producido promedio resulta en 5,189 t/h de vapor de alta presión, aunque a la fecha (2005) este flujo es del orden de 5,900 t/h, lo que representa más de 50 millones de toneladas de vapor al año.

Área	Número de pozos	Producción de Vapor (t/h)	Producción de Agua (t/h)	Profundidad Media (m)
Cerro Prieto Uno (CPU)	20	324.76	1,146.39	1,875
Cerro Prieto Dos (CPD)	63	2,340.50	3,941.82	2,800
Cerro Prieto Tres (CPT)	53	1,507.61	2,573.65	2,550
Cerro Prieto Cuatro (CPC)	21	1,016.87	9,71.55	2,850
Total	157	5,189.74	8,633.41	2,518.75

Tabla 1. Producción promedio de vapor de alta presión y de agua en 2003

3. Características del pozo E-54

El pozo E-54 se localiza en el área de Cerro Prieto Dos (CPD). Fue construido del 9 de marzo al 27 de junio

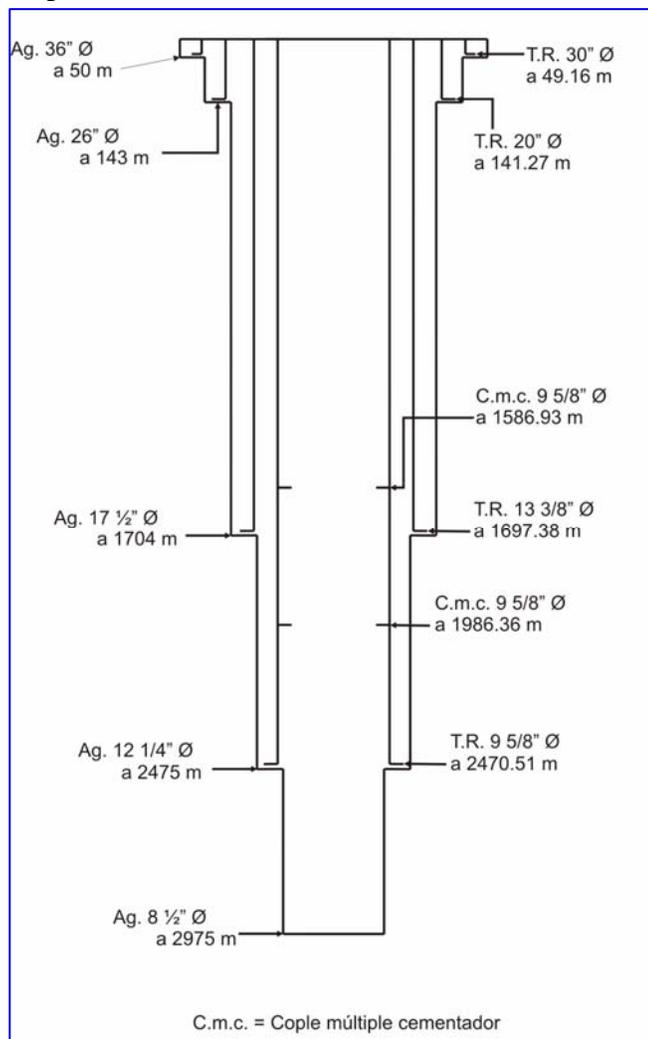


Fig. 3. Perfil de terminación del pozo E-54.

de 1989 (84 días), quedando su terminación con tubería de producción de 9 5/8" Ø desde superficie hasta 2470 m de profundidad y en agujero descubierto de 8 1/2" Ø de 2470 a 2975 m (503 m de agujero descubierto) (Fig. 3). Las operaciones de perforación y cementación se llevaron a cabo en forma normal, con excepción del intervalo perforado con barrena de 12 1/4" Ø, en donde se registraron pérdidas parciales y totales de circulación entre las profundidades de 1918 m y 2329 m. Además, en cuatro ocasiones ocurrieron pescados, recuperándose en su totalidad. La cementación de la tubería de revestimiento de 9 5/8" Ø se realizó en tres etapas y fue necesario realizar una cementación forzada, ya que las pruebas hidráulicas resultaron con abatimiento de presión en la zona de coples múltiples cementadores. Finalmente la perforación del agujero de 8 1/2" Ø se realizó con pérdidas parciales de circulación a partir de los 2589 m de profundidad y hasta el fondo (Residencia de Estudios, 2005).

Las muestras de canal recolectadas y analizadas durante la perforación del pozo (Residencia de Estudios, 2005) indican las condiciones litológicas y mineralógicas que se presentan en la Tabla 2.

El pozo se mantuvo en observación del 28 de junio al 11 de julio de 1989. Durante esta etapa se realizó una corrida de registros de temperatura, después del lavado del pozo, con diferentes tiempos de reposo, observándose una anomalía térmica que indicaba una

posible entrada de agua a través del cople múltiple cementador localizado a 1592 m de profundidad. Por ello se realizó un registro con detector de flujo, mismo que corroboró una posible infiltración hacia el fondo del pozo, principalmente en el intervalo en agujero descubierto (Residencia de Estudios, 2005). Sin embargo, esta infiltración no se reflejó en la etapa productiva.

Profundidad (m)	Composición litológica y características mineralógicas	
0 a 1403	Sedimentos clásticos no consolidados	
1403 a 1530	Lodolita	
1530 a 1674	Lutita café	
1674	Cima de la Lutita Gris	
1992-2097	Zona de transición	Carbonatos-Sílice
2097-2151		Carbonatos-Sílice, principios de epidota
2151-2193		Sílice >> Carbonatos, principios de epidota
2193-2238		Sílice, principios de epidota
2238-2279		Carbonatos-Sílice
2277-2283		Carbonatos-Sílice, principios de epidota
2283-2346		Carbonatos-Sílice, vetillas de epidota y carbonatos
2346-2404		Sílice >> Carbonatos, vetillas de Epidota y carbonatos
2404-2598	Zona de Sílice y Epidota	Sílice-Epidota
2598-2973	Pérdida total de circulación	
2598-2973	Zona de Sílice y Epidota	Sílice-Epidota (muestras tomadas con canasta lateral chatarrera)

Tabla 2. Características litológicas y mineralógicas del pozo E-54.

Los trabajos de inducción del pozo se ejecutaron en forma normal del 12 al 20 de julio del mismo año, fecha en que empieza a fluir por línea lateral de 5" Ø. La etapa de calentamiento se desarrolló del 21 de julio al 7 de diciembre de 1989, y durante ella se corrieron cuatro registros de fondo de presión-temperatura, alcanzándose una profundidad máxima de registro de 2590 m y una temperatura máxima registrada a los 2500 m de profundidad del orden de 334° C, aproximadamente (Residencia de Estudios, 2005).

La etapa de desarrollo del pozo se realizó de manera normal entre el 8 y el 20 de diciembre, y a partir del 21 de diciembre de 1989 el pozo se integró por primera vez al sistema de suministro de vapor, bajo las condiciones mostradas en la Tabla 3 (Residencia de Estudios, 2005).

Parámetro Productivo	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro del orificio de producción	Ø	7.62	cm
Presión de cabezal	Pw	59.3	bar
Presión de separación primaria	Psp	12.8	
Producción de vapor primario	Wvp	66.5	t/h
Producción de vapor secundario	Wvs	10.9	
Producción de agua	Wa	119	
Entalpía de producción	h	1479	kJ/kg

Tabla 3. Parámetros productivos de integración al sistema de suministro de vapor del pozo E-54.

4. Producción del pozo E-54 y características geoquímicas de sus fluidos

El pozo E-54 permaneció integrado al sistema de suministro de vapor durante catorce años y cuatro meses, después de los cuales dejó de fluir de manera relativamente rápida, al empezar a arrojar fragmentos de la formación y estrangularse con ellos. Fue sometido a trabajos de reparación a mediados del año 2004. La reparación consistió básicamente en remover los fragmentos de roca que habían ido acumulándose en el pozo, eliminar la incrustación formada en el interior de la tubería de producción y en el agujero descubierto, profundizar la zona productora en 200 m y colocar tubería ranurada de 7" Ø (Residencia de Estudios, 2005).

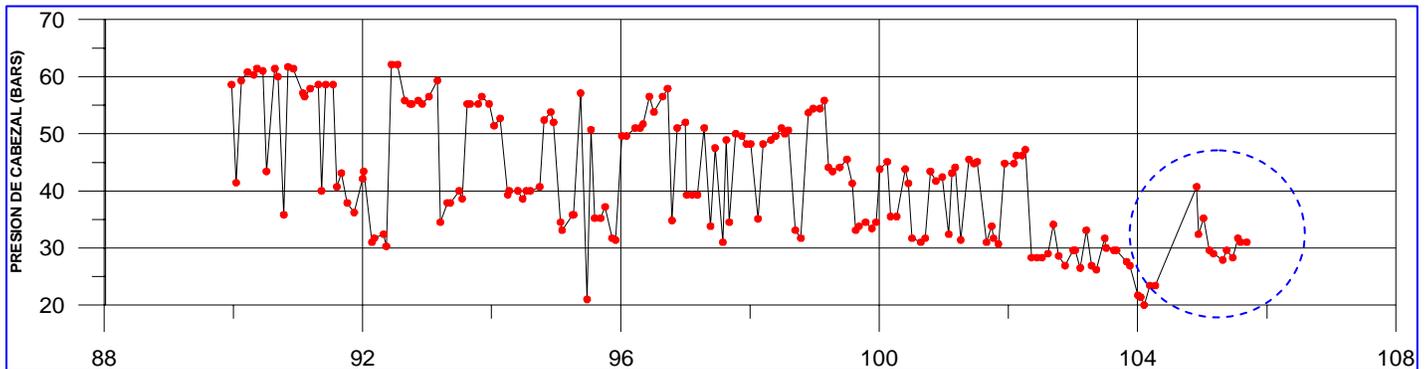


Fig. 4. Comportamiento de la presión de cabezal del pozo E-54 en el tiempo.

La Figura 4 presenta el comportamiento de la presión de cabezal del pozo contra el tiempo, observándose una serie de altibajos bien marcados, con variaciones entre 30 y 60 bars. Estas variaciones no se deben a cambios en el diámetro del orificio de producción, ya que durante todo el tiempo el pozo se mantuvo operando básicamente con dos diámetros, de 3" y 4". Después de la reparación, en lo que sería la segunda, y actual, etapa productiva, la presión de cabezal tiende a reducirse a una tasa mayor que en la primera etapa de producción, como se observa en la zona encerrada con un círculo de la Figura 4, pudiendo verse que la presión cae rápidamente de 40 a 30 bars, tendiendo después a estabilizarse.

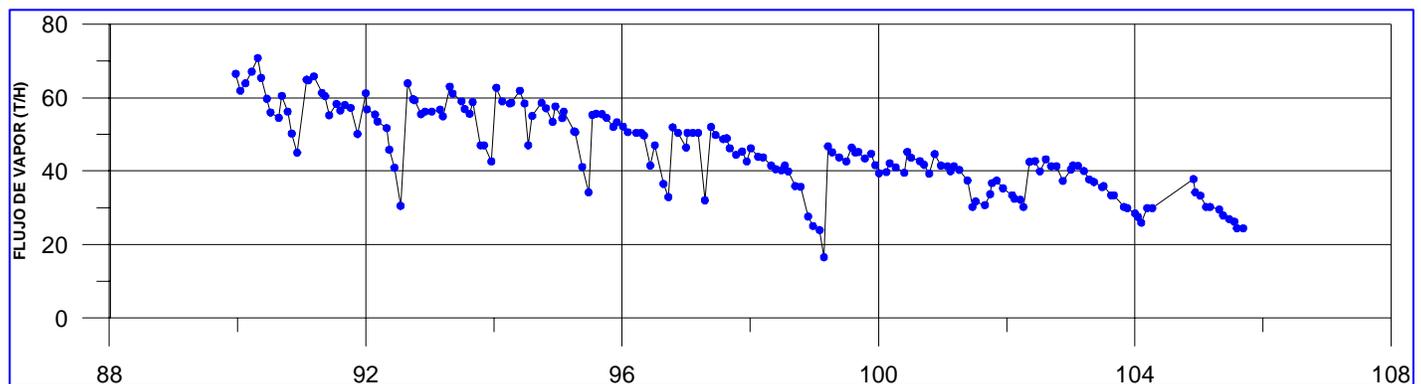


Fig. 5. Comportamiento de la producción de vapor del pozo E-54 en el tiempo.

Las figuras 5 y 6 presentan la producción de flujo másico de vapor y mezcla. En ambas se observa una tendencia definida y gradual a reducirse a lo largo del tiempo en su primera etapa productiva (1990-2004), aunque son notorios los constantes altibajos, similares a los que se observan en los valores de la presión de cabezal. Estos altibajos se deben a la incrustación del orificio de producción, el cual se limpiaba durante los mantenimientos programados, o se autodesapaba en otras ocasiones. Después de la reparación del pozo se observa una recuperación relativamente modesta de la producción, que sube de las 30 a las 40 t/h de vapor (Fig. 5) y de las 70 a las 120 t/h de mezcla (Fig. 6), pero que rápidamente desciende a poco más de 20 t/h de vapor y 80 t/h de mezcla.

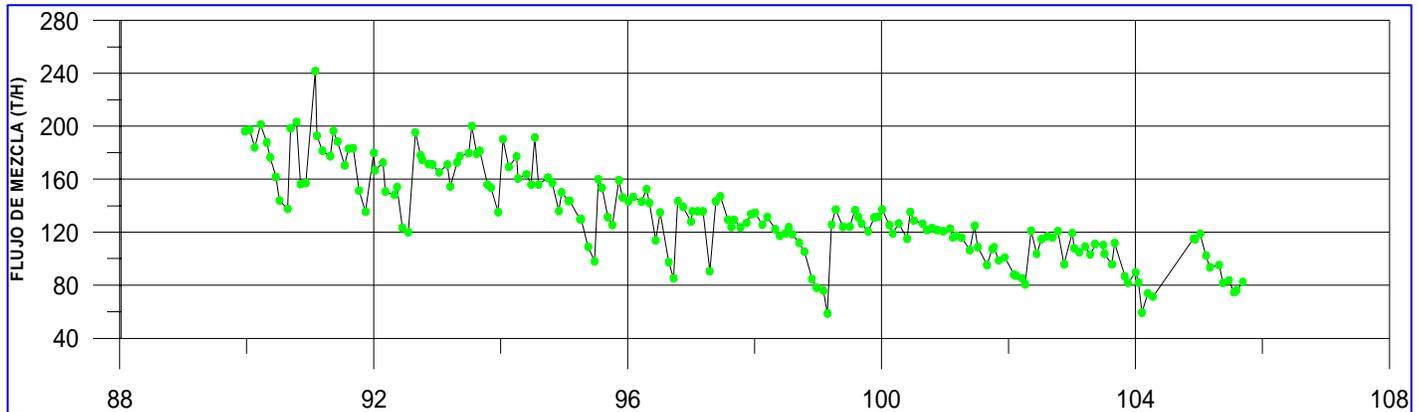


Fig. 6. Comportamiento de la producción de mezcla (agua+vapor) del pozo E-54 en el tiempo.

La Figura 7 muestra la evolución en el tiempo de la entalpía de producción, la cual se mantuvo oscilando en el rango entre 1400 y 1600 kJ/kg en la primera etapa de producción, pero sin mostrar una tendencia definida a incrementarse o disminuir. Después de la reparación del pozo (círculo azul), en la segunda etapa productiva la entalpía registra algunos altibajos ya que empieza con valores del orden de 1450 kJ/kg, para bajar a 1350, subir a 1500 y volver a bajar a unos 1450 kJ/kg.

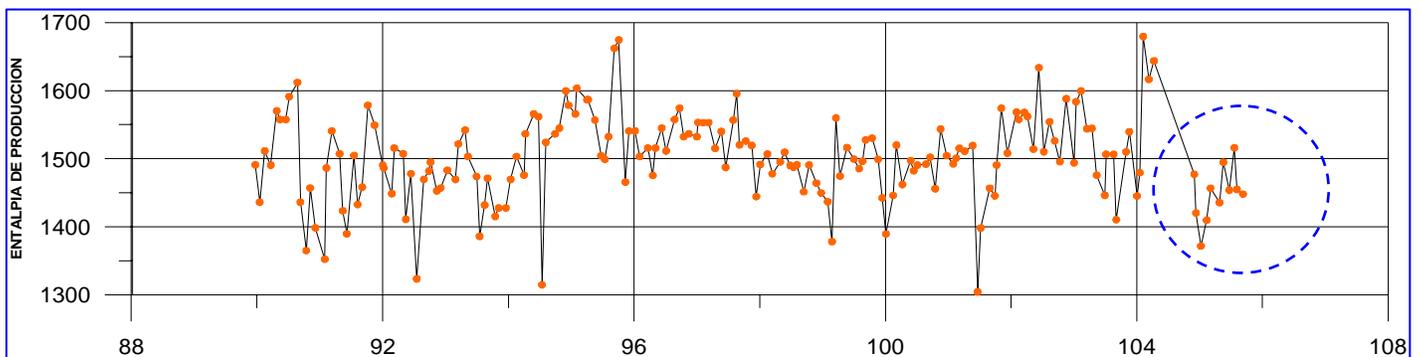


Fig. 7. Comportamiento de la entalpía de producción de vapor del pozo E-54 en el tiempo.

La Figura 8 presenta la curva de declinación de la producción de vapor del pozo E-54 durante sus dos etapas productivas, indicándose también los diámetros del orificio de la placa de producción. Se notan de nuevo los altibajos en el flujo de vapor durante la primera etapa productiva del pozo, que reflejan, como se dijo, la incrustación en el orificio de producción que reducía el área transversal efectiva de paso. Cuando la incrustación se limpiaba, se incrementaba el área de paso y, consecuentemente, la producción de vapor. En otras ocasiones, la misma presión de flujo ejercida sobre la incrustación lograba removerla y desprenderla del orificio. La incrustación de sólidos en el orificio de producción se debe a la rápida caída de presión (y temperatura) del fluido, y a la separación de fases que lleva a una marcada sobresaturación de sílice en la salmuera (Arellano *et al.*, 1991).

Se realizó un ajuste a la tendencia mostrada por la producción del pozo antes y después de la reparación, para lo cual se utilizó el modelo armónico. Este modelo es uno de los que ofrece mejor ajuste para el caso de la producción de pozos de Cerro Prieto (Ocampo *et al.*, 2000a). El factor de declinación resultante para la primera etapa productiva resultó ser del orden de 0.005, mientras que el correspondiente a la segunda etapa productiva fue de 0.6 (Fig. 8), es decir mucho mayor que en la primera etapa. Por lo tanto, es preciso observar con cuidado el comportamiento del pozo E-54 para saber si tiende a estabilizarse o continúa su rápida declinación.

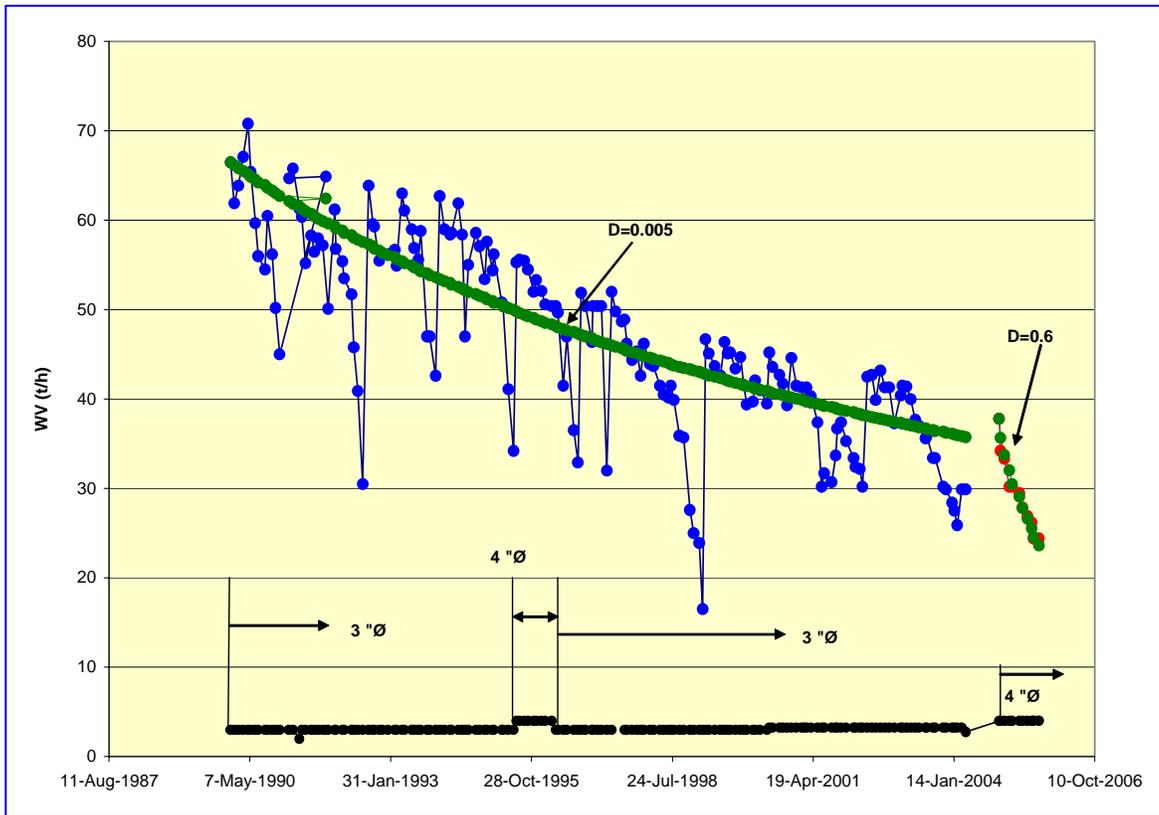


Fig. 8. Declinación de la producción de vapor en el pozo E-54.

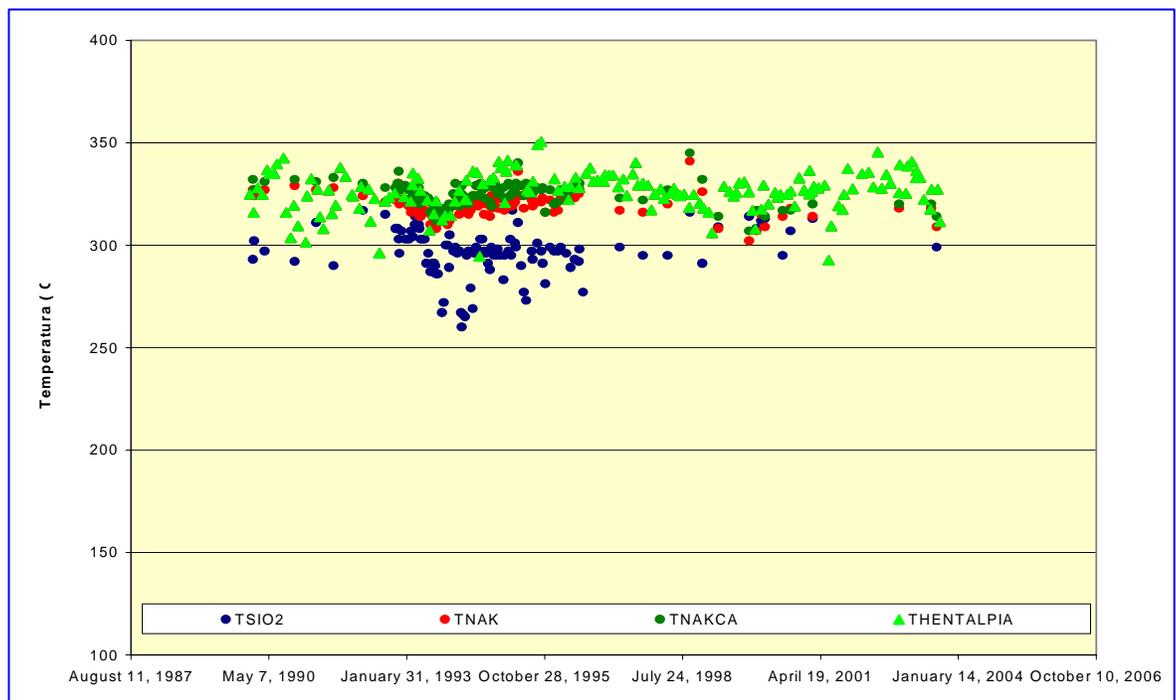


Fig. 9. Temperatura de geotermómetros para el pozo E-54.

Para el análisis del comportamiento geoquímico de los fluidos producidos por este pozo en su primera etapa, se graficaron las temperaturas geotermométricas que más se han utilizado en Cerro Prieto, que son las de los geotermómetros de sílice, de sodio-potasio y de sodio-potasio-calcio (Fig. 9). Como se puede observar, no hay diferencias marcadas entre las temperaturas obtenidas con los geotermómetros iónicos y la temperatura con base en la entalpía de producción (TH en la Figura 9), pero las temperaturas del geotermómetro de sílice

resultan sistemáticamente menores. Este comportamiento es similar al que se observa en todo el campo, ya que de tiempo atrás Truesdell y colaboradores (1978, 1989) habían postulado que:

$$T_h \approx T_{NaK} \approx T_{NaKCa} \geq T_{SiO_2}$$

A partir de la geotermometría puede inferirse una posible ebullición en la zona cercana al fondo del pozo, con equilibrio térmico entre la roca y el fluido. Sin embargo, en algunos casos las temperaturas son prácticamente iguales, significando que el fluido que alimenta al pozo se encuentra en fase líquida y totalmente equilibrado.

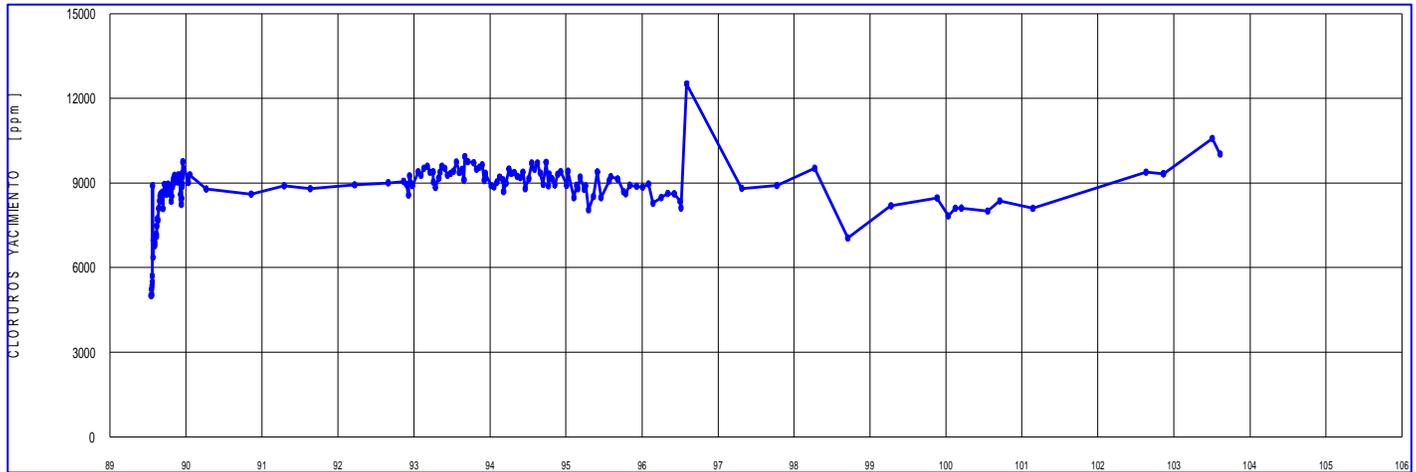


Fig. 10. Concentración de cloruros en el yacimiento para el pozo E-54.

La Figura 10 presenta la evolución de la concentración de cloruros a condiciones de yacimiento para el pozo E-54 en su primera etapa de producción, hasta mediados de 2004. El contenido de cloruros es prácticamente estable entre 1990 y mediados de 1996, a partir de cuando empieza a presentar fuertes variaciones con una ligera tendencia a incrementarse.

5. Incrustación

La incrustación por depósito de minerales es un problema común que se presenta prácticamente en la totalidad de los pozos del campo geotérmico de Cerro Prieto, aunque en diversos grados. Ocurre en todas las superficies que están en contacto con la salmuera, abarcando a las propias rocas del yacimiento, las tuberías de producción del pozo, los separadores, silenciadores, tuberías de conducción, válvulas, canales, álabes de las turbinas, etc. Sin embargo, los problemas más graves son los que afectan tanto a las tuberías de producción como a las partes del yacimiento aledañas a la zona de producción de los pozos (Mercado *et al.*, 1989; Ocampo *et al.*, 2000b).

En Cerro Prieto normalmente las incrustaciones son de tres tipos: de carbonato de calcio (calcita), de sílice (SiO_2) y de sulfuros metálicos (Ocampo *et al.*, 2000b, 2005). El alto contenido de sílice en el yacimiento, por encima de los 900 mg/l, ocasiona una alta tasa de incrustación, lo que a su vez causa importantes pérdidas de producción (Hurtado y Mercado, 1990). Debido a ello es necesario realizar cada año la reparación de cuando menos 12 pozos afectados por incrustación (Gutiérrez y Mendoza, 1995; Ocampo *et al.*, 2005).

Durante la reparación del pozo E-54 se recolectaron muestras de incrustación en un intervalo de profundidad entre 530 y 2450 metros, aunque ya había evidencias de incrustación desde los 150-200 metros de profundidad. Las muestras fueron clasificadas como sílice, con presencia de cantidades menores de minerales metálicos, principalmente pirita y bornita. Hacia el fondo del pozo, aproximadamente donde se localiza la zapata de 9 5/8", se presentó un mayor contenido de esos minerales metálicos.

Arellano *et al.* (1991) concluyeron que una de las principales causas del abatimiento en la producción de los pozos de Cerro Prieto era la incrustación en las tuberías productoras y en el yacimiento, y definieron un parámetro de depósito de sílice al que denominaron Rd. De acuerdo con este parámetro, es posible esperar una importante incrustación de sílice en el yacimiento cuando la tasa de depósito de sílice rebasa los 10 kg por hora (kg/h). Por su parte, Beall *et al.* (1997) estimaron, partiendo de información geoquímica, que la tasa de depósito de sílice en los pozos de Cerro Prieto se encontraba en un rango entre 0 y 55 kg/h.

Para el caso del pozo E-54, y con base en la información geoquímica obtenida a partir de los muestreos de agua separada que rutinariamente realiza la Comisión Federal de Electricidad en los pozos productores de Cerro Prieto, se calculó la tasa de depósito de sílice. Se tomó para ello la concentración de sílice en el fondo del pozo y en el cabezal del mismo, así como el flujo másico producido, determinado a partir de las mediciones mensuales de flujo. Debido a que no se contó con información geoquímica continua que coincidiera con los datos de producción, no se pudo realizar el cálculo en forma continua para todo el tiempo en que el pozo estuvo en operación. Sin embargo, en la Figura 11 se presenta en forma gráfica la estimación de algunos valores para la tasa de depósito de sílice. Como se ve en ella, no existe una tendencia definida a lo largo del tiempo, pero los valores calculados oscilan entre 2 y 25 kg/h, con una tasa promedio del orden de 13.5 t/h. Por lo tanto, era razonable esperar incrustaciones de sílice en el pozo, toda vez que el promedio rebasa los 10 kg/h.

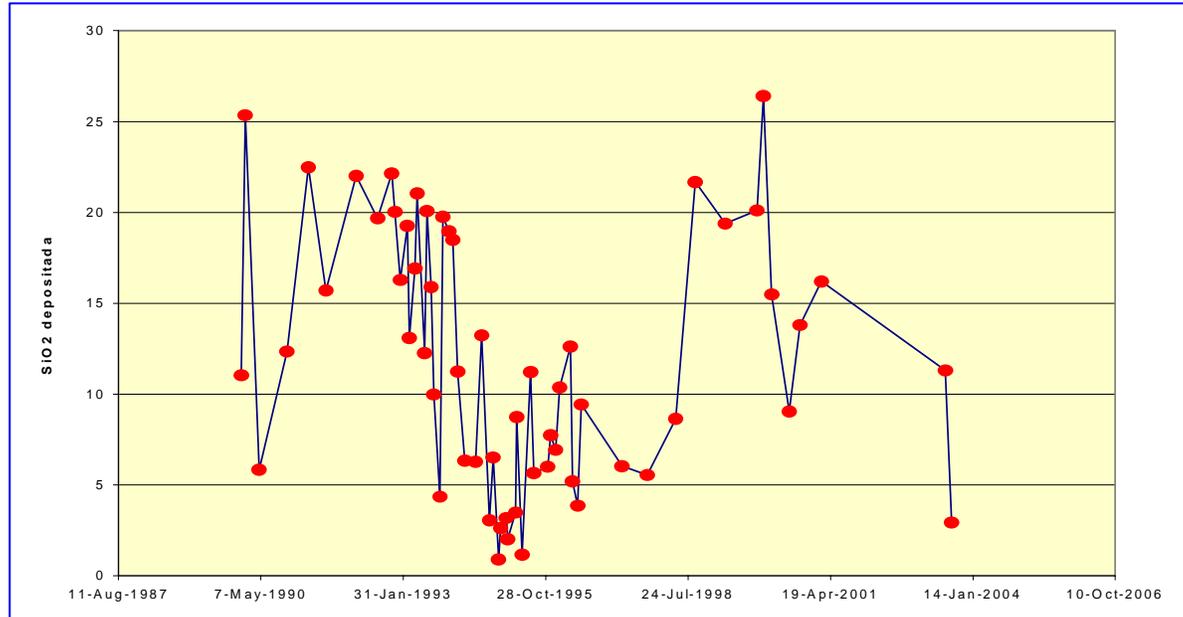


Fig. 11.
Estimación
de la tasa de
depósito de
sílice en el
pozo E-54.

6. Simulación del efecto de precipitación de sílice

El pozo constituye la más importante ventana a través de la cual se puede obtener información del yacimiento geotérmico. Cada pozo tiene características particulares que afectan tanto al flujo de masa como de calor en el mismo. Por eso, comprender el comportamiento de los flujos en el pozo es de fundamental importancia en

el análisis de diversos problemas tanto de producción como de ingeniería de yacimientos (Arellano *et al.*, 1991). Y para comprender el comportamiento del flujo de un pozo, es muy útil el empleo de un simulador.

En este trabajo se utilizó el simulador de pozos FLOWGEO, desarrollado por Ocampo y Saucedo (2005), que es un simulador de flujo unidimensional, unidireccional, y en estado estacionario para diámetros variables, el cual ya ha sido validado para datos de campo. Los datos que de entrada para el simulador FLOWGEO, son la presión de cabezal, el flujo másico, la entalpía de producción y la geometría del pozo (diámetros y longitudes).

La Figura 12 presenta los resultados de algunas de las corridas de simulación numérica del flujo de fluidos para el pozo E-54 con el simulador FLOWGEO durante sus dos etapas productivas, con puntos azules para la primera y rojos para la segunda etapa. Los puntos indican las condiciones termodinámicas de los fluidos que entran al pozo, pudiendo concluirse que han sido principalmente fluidos monofásicos. Esto concuerda en cierto modo con el comportamiento de las temperaturas estimadas con base en los geotermómetros.

La Figura 13 presenta una gráfica de la profundidad del punto de flasheo dentro de la tubería de producción del pozo E-54 contra la entalpía de sus fluidos, obtenida a partir de las corridas realizadas con el simulador FLOWGEO. Como se puede observar, la mayor parte de los datos utilizados en dichas corridas indicaron profundidades del punto de flasheo por debajo de los 1750 m de profundidad, es decir, en el interior de la TR de 9 5/8" Ø. Debe señalarse que debido a las marcadas oscilaciones en los datos de presión de cabezal y de producción de vapor, como consecuencia de alta tendencia a la incrustación de la placa de orificio, la simulación numérica resultó difícil, existiendo también variaciones marcadas en los resultados obtenidos.

Debido a que durante los trabajos de reparación del pozo no se realizó un perfil detallado de la incrustación, ya que la formación arrojada por el mismo lo impedía, no es posible efectuar una comparación precisa y confiable entre los resultados obtenidos de las corridas de simulación y el perfil de incrustación obtenido con los registros de calibración.

A partir de la metodología propuesta por Ocampo *et al.* (2005), sustentada en que existe una relación entre la calidad del fluido en el pozo y la precipitación de sílice en el mismo, se incorporó al simulador FLOWGEO una ecuación para calcular la cantidad de sílice precipitada en el interior de la tubería de producción mientras el fluido asciende del fondo al cabezal. Para ello, el simulador debe ser alimentado con las concentraciones de sílice a condiciones de fondo y de cabezal, expresadas en partes por millón (ppm). Las fechas de muestreo

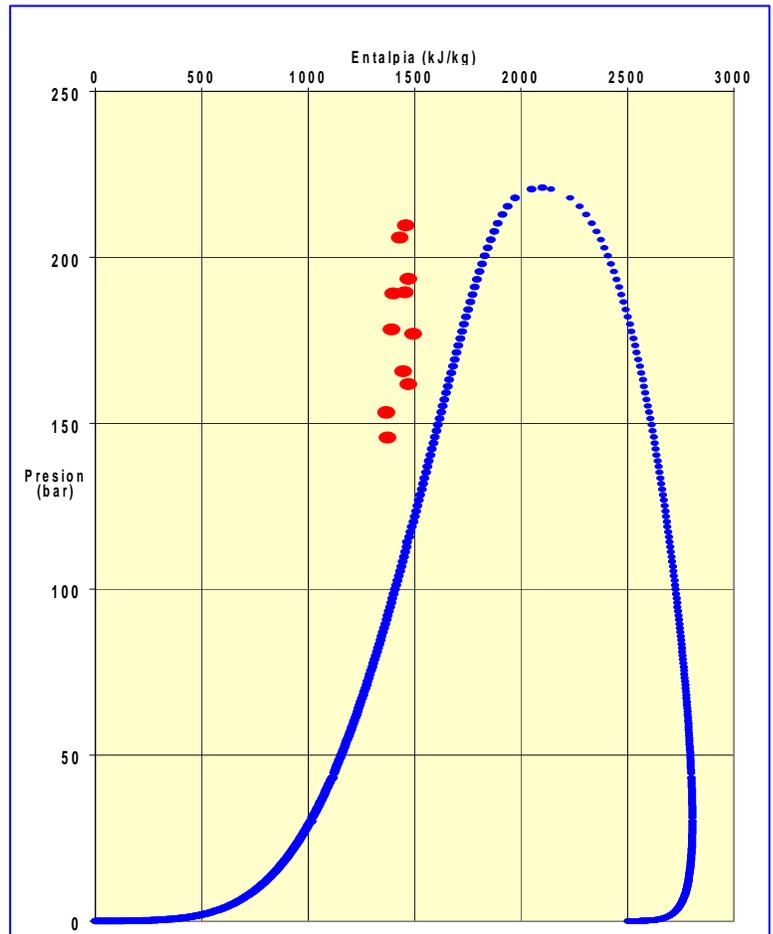
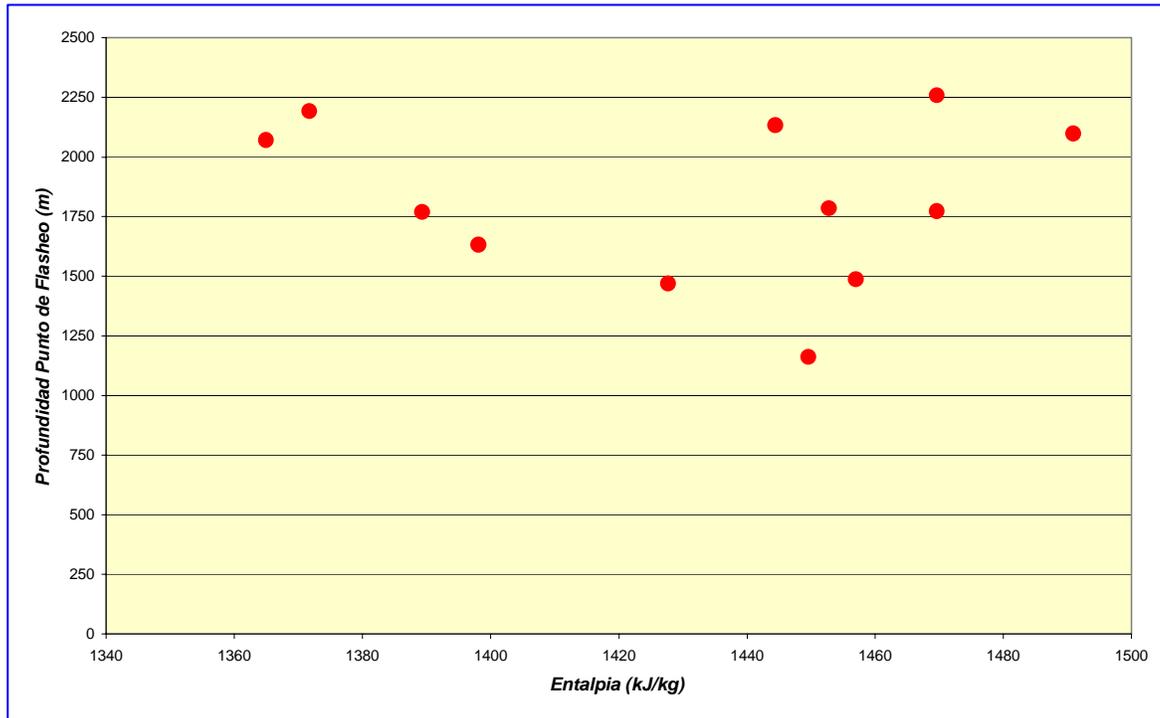


Fig. 12. Condiciones en el fondo del pozo E-54, calculadas con base en datos de producción.

a partir del cual se calculan esas concentraciones de sílice deben ser lo más acorde posible con las fechas de los datos de producción, a fin de obtener una mayor confiabilidad en la relación entre las concentraciones y la calidad del fluido que calculará el simulador.



*Fig. 13.
Profundidad
del punto de
flasheo contra
entalpía de
producción
para el pozo E-
54.*

La Figura 14 presenta la pantalla de resultados de una de las corridas del simulador FLOWGEO para determinar la cantidad de sílice que precipita en el pozo E-54. En las diversas corridas realizadas se obtuvo que el mayor porcentaje de sílice, es decir del 30 al 45% del total, se deposita en un intervalo de profundidad comprendido entre el punto de flasheo del pozo y unos 500 m por encima de él. Es importante recalcar que debido a la oscilación de los datos de producción es difícil determinar con precisión en el simulador la profundidad del punto de flasheo, ya que los datos de entrada no resultan totalmente representativos del potencial del pozo.

7. Conclusiones

- Se realizó el análisis del comportamiento productivo del pozo E-54 de Cerro Prieto, del cual se observó una marcada oscilación particularmente en la presión de cabezal y el flujo de vapor. Estas variaciones se deben a una acelerada y continúa tendencia del orificio de la placa de producción a incrustarse.
- La evolución de la geotermometría de sílice y su relación con la temperatura de la entalpía de producción, muestran una posible ebullición local. También muestran que en ciertos periodos de su vida productiva el pozo E-54 se alimentaba con fluido monofásico en fase líquida, totalmente en equilibrio con el yacimiento.
- Después de producir vapor durante catorce años, el pozo dejó de producir y debió repararse para remover los fragmentos de roca acumulados y eliminar la incrustación formada en el interior de su tubería de producción y en el agujero descubierto, además de profundizar la zona productora en 200 m y colocar tubería ranurada de 7" Ø.

- Las muestras del material incrustante colectadas durante los trabajos de reparación fueron básicamente sílice con presencia de minerales metálicos, principalmente pirita y bornita, los cuales se volvían más abundantes hacia el fondo del pozo, aproximadamente a 2450 m de profundidad, donde se localiza la zapata de 9 5/8" Ø.

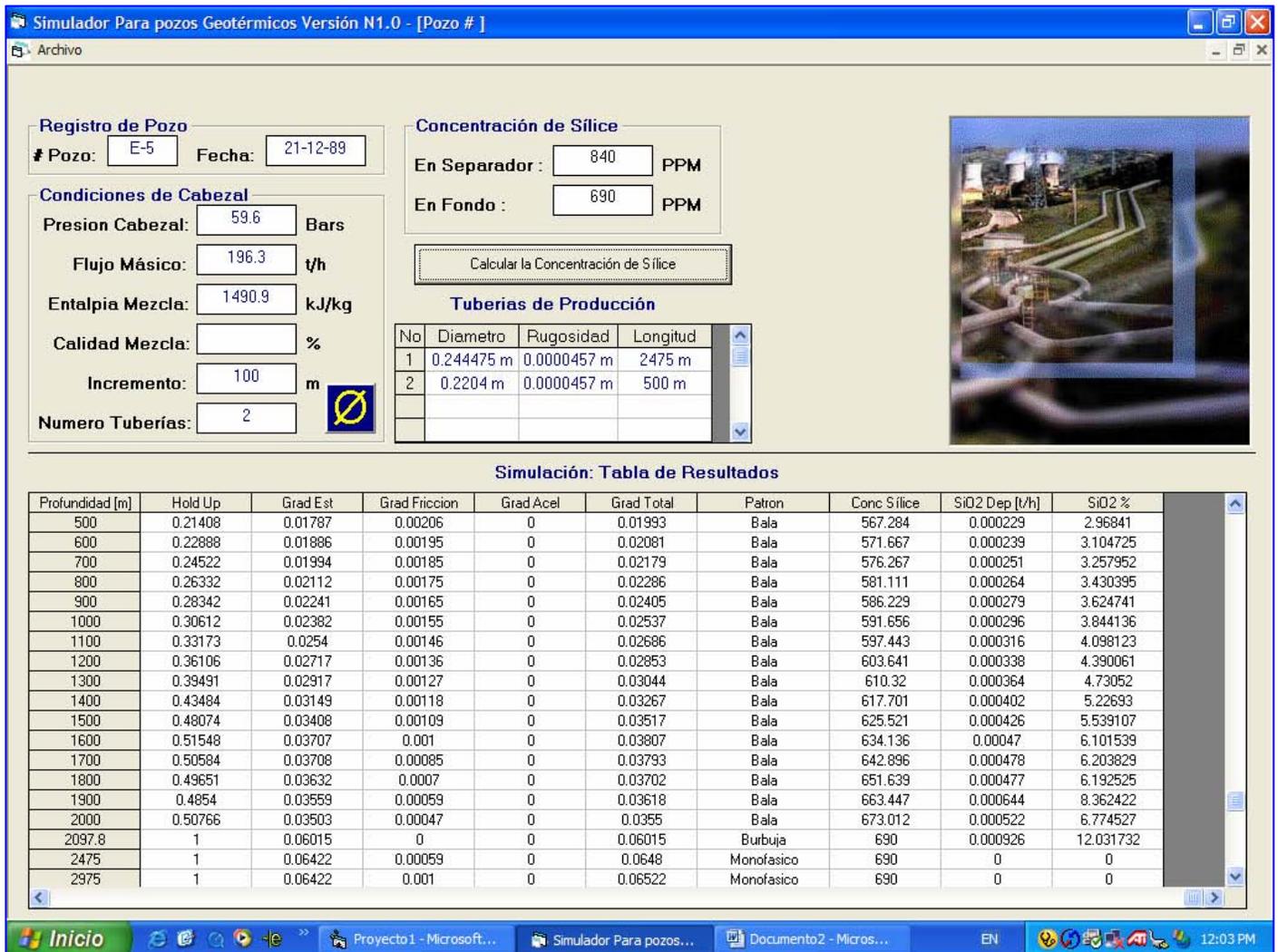


Fig. 14. Corrida de simulación de flujo y depósito de sílice en el pozo E-54

- A partir de la información geoquímica obtenida del muestreo rutinario de agua separada, se calculó la tasa de depósito de sílice en el pozo, la cual varía entre 2 y 25 kg/h, con un promedio mensual de 13.5 t/h.

- Se realizó la simulación numérica del flujo másico en el pozo E-54 utilizando el simulador FLOWGEO, pudiendo concluirse que el fluido que alimentaba el fondo del pozo era un fluido monofásico en fase líquida, lo cual concuerda en cierto modo con la interpretación del comportamiento de las temperaturas en base a los geotermómetros.

- A partir de los resultados de la simulación numérica realizadas se concluye que el punto de flasheo del pozo se localizaba por debajo de los 1750 m de profundidad, es decir en el interior de la T.R. de 9 5/8" Ø.

- También se simuló la cantidad de sílice precipitada en el interior de la tubería de producción del pozo, concluyéndose que entre el 30 y el 45% del total de sílice se deposita entre el punto de flasheo y unos 500 m por encima de él.

Referencias

- Arellano, V.M., D. Nieva, R.M. Barragán, and J. De León (1991). Developments in Geothermal Energy in México - Part thirty-seven. Procedure to Diagnose Production Abatement Problems in Geothermal Wells. *Heat Recovery Systems & CHP*, Vol. 11, No. 6, pp. 471-481.
- Beall, J.J., A. Pelayo, and J.D. Ocampo (1997). Dry steam feed zones and sílica scaling as major controls of total flow enthalpy at Cerro Prieto, Mexico. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 21, pp. 401-408.
- De Leon, Jesús (2003). A suite of computer programs used in the developments and management of the Cerro Prieto geothermal field. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 27, pp. 53-57.
- Gutiérrez-Negrín, L.C.A., and J.L. Quijano-León (2003). Geothermal Development in México. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 27, pp. 685-688.
- Gutiérrez P., H., and M. Mendoza (1995). Techniques for rehabilitation of wells in Cerro Prieto. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 19, pp. 401-408.
- Hurtado, R., and S. Mercado (1990). Scale control studies at the Cerro Prieto geothermal plant. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 14, Part II, pp. 1603-1610.
- Mercado, S., F. Bermejo, R. Hurtado, B. Terrazas, and L. Hernández (1989). Scale incidences on production pipes of Cerro Prieto geothermal wells. *Geothermics*, Vol. 18, No. 1-2, pp. 225-232.
- Ocampo Díaz, J.D., A. Pelayo and T. Box (2000a). Forecast of steam production for some Cerro Prieto geothermal wells. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 24, pp. 417-420.
- Ocampo D., J.D, A. Pelayo L, and T. Box (2000b). Scaling plug problems observed in some Cerro Prieto geothermal production wells. *Proceedings of the Twenty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California, pp. 160-165.
- Ocampo, J.D., S.B. Valdez, M. Shorr, I. Saucedo, and N. Rosas (2005). Review of corrosion and scaling problems in Cerro Prieto geothermal field over 31 years of commercial operation. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2005*, Antalya, Turkey.
- Ocampo D., J.D., and I. Saucedo M. (2005). Simulación de flujo en dos fases en pozos geotérmicos. *Memorias del 7º. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
- Residencia de Estudios (2005). Expediente del pozo Productor E-54. CFE, Residencia General Cerro Prieto. Informe interno. Inédito.

- Truesdell, A.H., A. Mañón, M.E. Jiménez, A. Sánchez, and J.J. Fausto (1978). Geochemical evidence of drawdown in the Cerro Prieto geothermal field. *Proceedings of the 1st Symposium on the Cerro Prieto Geothermal Field*, Baja California, Mexico, pp. 130-138.
- Truesdell, A.H., M.J. Lipmann, B. Terrazas, L. Hernández, C. Janick, L. Quijano, and R. Tovar (1989). The response of the Cerro Prieto reservoir to exploitation as indicated by fluid geochemistry. *Proceedings of the CFE-DOE Symposium on geothermal energy*, DOE CONF 8904129, pp. 123-132.
- Truesdell, A.H., M.J. Lippman, J.L. Quijano, and F. D'Amore (1995). Chemical and physical indicators of reservoir processes in exploited high-temperature, liquid-dominated geothermal fields. *Proceedings of the World Geothermal Congress 1995*, Florence, Italy, pp. 1933-1938.
- Truesdell, A.H., M.J. Lippman and H. Gutiérrez-Puente (1997). Evolution of the Cerro Prieto reservoir under exploitation. *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 21, pp. 335-340.