

Cambios en la producción de vapor debido a las condiciones del yacimiento en Cerro Prieto, BC

Ramón Morales Cárdenas y Marco H. Rodríguez Rodríguez

Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Residencia General de Cerro Prieto, Mexicali, BC, México. Correo: marco.rodriguez01@gfe.gob.mx

Resumen

En más de 35 años de explotación el yacimiento geotérmico de Cerro Prieto ha experimentado cambios en sus condiciones termodinámicas. En este trabajo se analiza el efecto de esos cambios del yacimiento y su repercusión en la producción de vapor para las diferentes zonas en las que se ha dividido el campo. Las propiedades más importantes del fluido en el yacimiento para la producción de vapor son su entalpía y su presión, por lo que se presenta la evolución de esas propiedades en un diagrama de presión-entalpía, en el que se observa que hay zonas del yacimiento que están próximas a alcanzar condiciones de abandono.

Palabras clave: Cerro Prieto, ingeniería de yacimientos, producción de vapor, termodinámica.

Changes in steam production due to the reservoir conditions in Cerro Prieto, BC

Abstract

In more than 35 years of exploitation, thermodynamic conditions have changed in the Cerro Prieto geothermal reservoir. The effects are analyzed of the changes to the reservoir and their consequences to steam production in different field zones. For steam production, the most important features of reservoir fluids are enthalpies and pressures. The evolution of these features is presented in an enthalpy-pressure diagram. Here it can be seen that some reservoir zones have almost reached abandonment conditions.

Keywords: Cerro Prieto, reservoir engineering steam production, thermodynamics.

1. Introducción

Para relacionar los cambios del yacimiento con la producción de vapor se hizo un análisis detallado de presión y entalpía a fin de determinar cuánto ha evolucionado el yacimiento en respuesta a la extracción de fluido. En algunos sectores del yacimiento hay pozos abandonados por no alcanzar condiciones mínimas para fluir, lo que se debe al arribo de fluidos de menor temperatura que provocan un enfriamiento en la formación productiva.

Para estudiar la evolución en el yacimiento y sus condiciones de producción, el campo se dividió en varias zonas. Se elaboraron gráficas con base en registros de presión a condiciones estáticas en cada sector. Para determinar la presión a una profundidad de referencia se graficó la presión contra el tiempo y se definió así el ritmo de declinación, calculándose su abatimiento. La entalpía considerada fue la correspondiente al fluido de producción. Bajo estas condiciones se empleó un diagrama presión-entalpía y se evaluó el campo y su capacidad para producir.

El objetivo de este trabajo es conocer las condiciones actuales del yacimiento y determinar qué tan próximo se encuentra de llegar a las condiciones mínimas de presión y entalpía necesarias para producir vapor. Por ejemplo, hay zonas del sector Cerro Prieto I (CPI) que ya han sido abandonadas a la explotación porque los pozos en ellas no alcanzan tales condiciones mínimas de producción. En estas zonas ya no se han invertido recursos para perforar ó reparar pozos, debido a que no resultaría rentable.

2. Generalidades del campo geotérmico de Cerro Prieto

El Campo Geotérmico de Cerro Prieto (CGCP) se localiza a 28.6 km al SE de la ciudad de Mexicali, entre los meridianos 114°40' y 115°33' de longitud al oeste de Greenwich y los paralelos 31°55' y 32°44' de latitud N, sobre la planicie deltaica que formaron los sedimentos transportados por el Río Colorado. A 6 km al NO del campo se encuentra el volcán de Cerro Prieto, que tiene una altura de 225 msnm, una composición dacítica a riodacítica y una edad menor a 700 mil años (Aguilar-Dumas, 2008).

El campo geotérmico ha sido explotado comercialmente desde 1973. En los primeros años (1973-1980) sólo se contaba con la planta de (CPI) y la demanda de vapor promedio era de 650 toneladas por hora (t/h). Entre 1979 y 1980 se amplió la capacidad instalada a 180 MW, con una demanda de vapor promedio de 1300 t/h. En 1985 y 1986 entraron en operación las plantas de Cerro Prieto II (CPII) y Cerro Prieto III (CPIII), aumentando la producción de vapor a 4000 y 5500 t/h, respectivamente (Gutiérrez y Rodríguez, 2000). En 2000 entró en operación la planta Cerro Prieto IV (CPIV), con una capacidad instalada de 100 MW, pero la demanda de vapor se mantuvo entre 4500 y 5000 t/h, con demandas pico de vapor de 6000 t/h. Durante el primer semestre de 2008 la producción de vapor se mantuvo ligeramente por arriba de las 5000 t/h (Rodríguez, 2009).

3. Localización de las zonas estudiadas

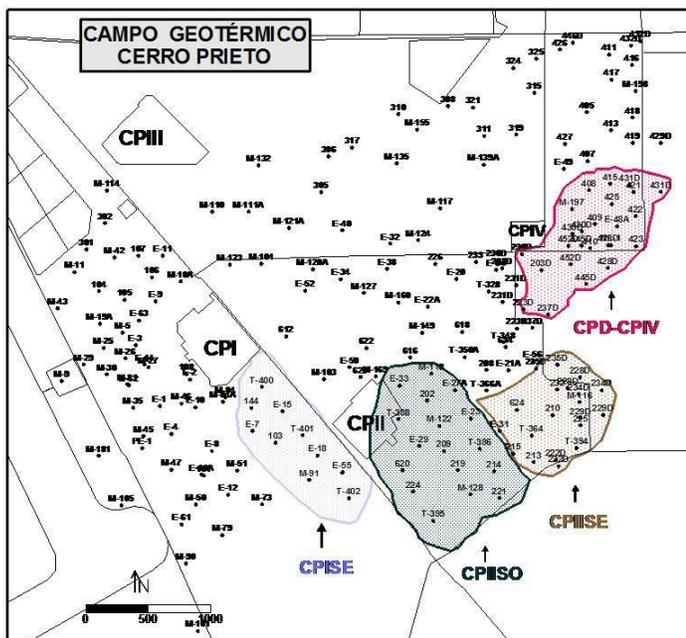


Fig. 1. Zonas analizadas del campo de Cerro Prieto.

En general, las condiciones del yacimiento varían a lo largo del campo, debido a su gran extensión. Por ello se decidió dividir el campo en zonas que presentan características similares dentro de ellos, lo que permite realizar un estudio detallado del comportamiento productivo en cada área. Las características que se tomaron en cuenta en cada zona son la presión del yacimiento y la historia productiva de los pozos localizados en ellas.

Para definir las zonas se consideró que estuvieran distribuidas a lo largo del campo, que hubiera varios pozos en producción y se tuvieran registros de presión suficientes para definir tendencias claras. Del sector CPI se determinó así la zona denominada CPISE, que es la zona de mayor aportación de vapor actual en CPI. Del sector CPII se consideraron dos zonas: la primera se ubica al suroeste y se llamó CPIISO, y la segunda al sureste, denominándosele CPIISE. Finalmente se consideró la zona CPD-CPIV, que se encuentra localizada entre los sectores CPII y CPIV, que abarca desde la parte sur de CPIV hasta la parte noreste de CPII incluyendo los pozos direccionales dirigidos hacia a los terrenos adquiridos recientemente por CFE (Fig. 1).

4. Análisis productivo y evolución del yacimiento en la zona CPISE

Esta zona empezó a explotarse desde enero de 1979, alcanzando unos 30 años de explotación, como se muestra en la historia productiva de la Figura 2 (Rodríguez, 2010).

Durante los primeros tres años sólo hubo un pozo integrado, el cual empezó con una producción de 90 t/h de vapor, entalpía de producción de 1400 kJ/kg y una presión de cabezal de 30 bar. En mayo de 1985 se encontraban ya 5 pozos en operación, y la producción de la zona se incrementó por arriba de las 300 t/h durante poco más de tres años. En mayo de 1990, con 8 pozos integrados, se obtuvo la máxima producción de la zona con 647 t/h, presión de cabezal promedio de 36 bar, y una producción promedio por pozo de más de 60 t/h, como se puede observar en la misma Figura 2.

Para analizar el comportamiento de presión en la zona se tomaron en cuenta los registros de presión medidos en condiciones estáticas desde 1982 hasta 2005 en los pozos T-400, T-402, E-15, E-55, 103, 144 y E-18 (RECP, 2010), de los cuales se tomaron los valores de presión a una profundidad de referencia de 2000 m (Fig. 3), por ser esta la profundidad en donde se localiza la zona productora de estos pozos.

Las presiones tomadas de los registros a la profundidad de referencia se graficaron respecto al tiempo para observar el comportamiento de la presión durante el periodo de explotación, obteniendo la gráfica que se muestra en la Figura 4, en la cual se puede observar la tendencia de la presión del yacimiento. En 1982 se registraba una presión de 160 kg/cm², para 1990 se tenía una de 130 kg/cm², y para 2005 se registró un promedio de 93 kg/cm². Así, en la zona se aprecia una tasa de declinación promedio de unos 2.3 kg/cm² por año, pudiéndose proyectar una presión de sólo 90 kg/cm² para el año 2010.

Para determinar los cambios de la capacidad del yacimiento para la producción de vapor, se presentan en el diagrama de presión–entalpía las condiciones al inicio de la explotación y las condiciones actuales (Fig. 5). En él se incluyen tres líneas de referencia a 1500, 2000 y 2500 m de profundidad, las cuales indican las condiciones mínimas de presión y entalpía que debe tener el yacimiento para producir 15 t/h de vapor,

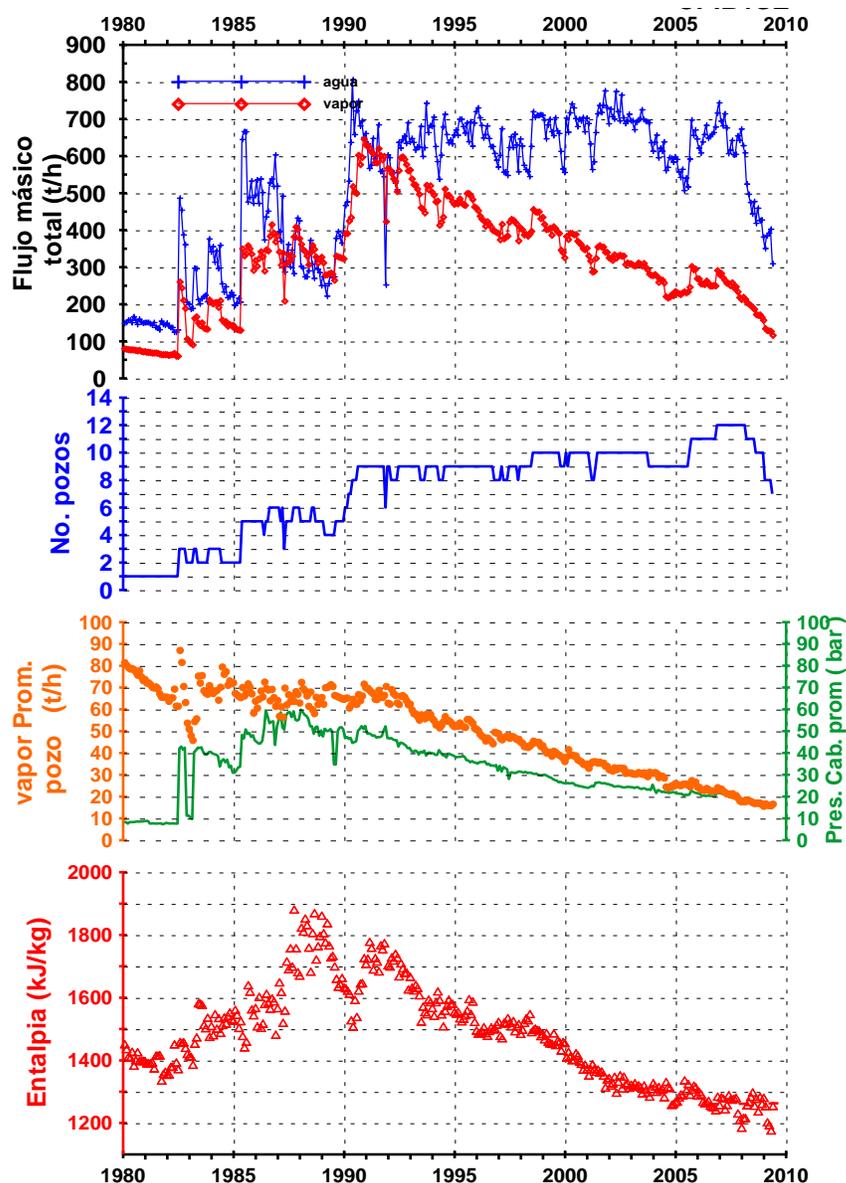


Fig. 2. Historia de producción de la zona CPISE.

utilizando los índices de productividad observados en el yacimiento de Cerro Prieto de acuerdo al trabajo presentado por Rodríguez (2009).

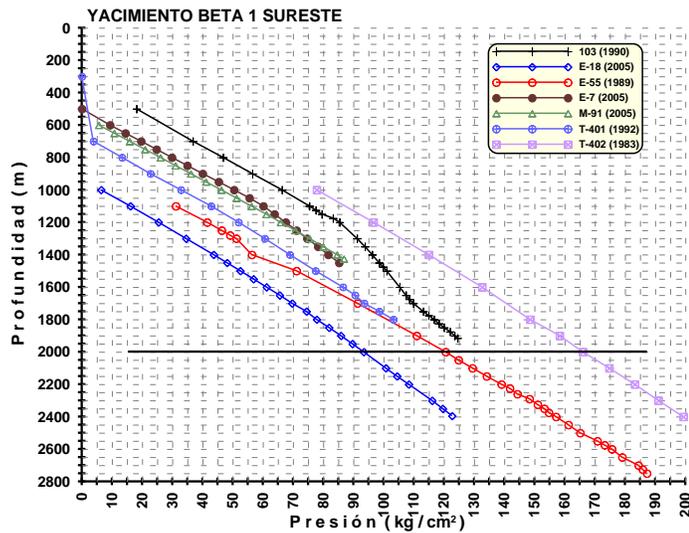


Fig. 3. Registros de presión estáticos en pozos de la zona CPISE.

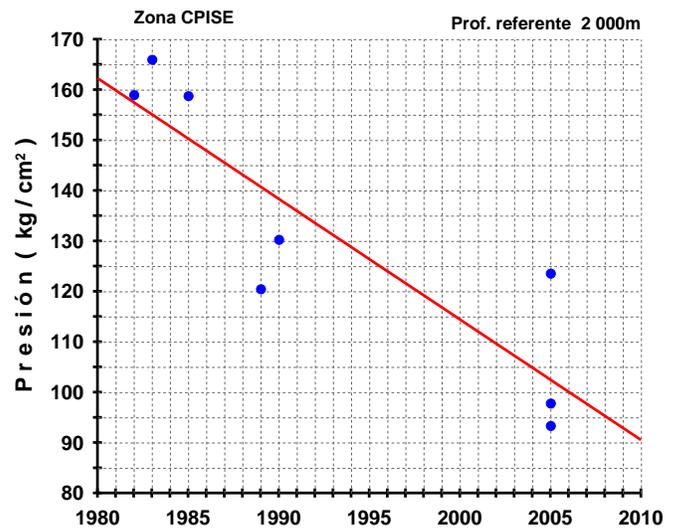


Fig. 4. Evolución de la presión del yacimiento a 2000 m en la zona CPISE.

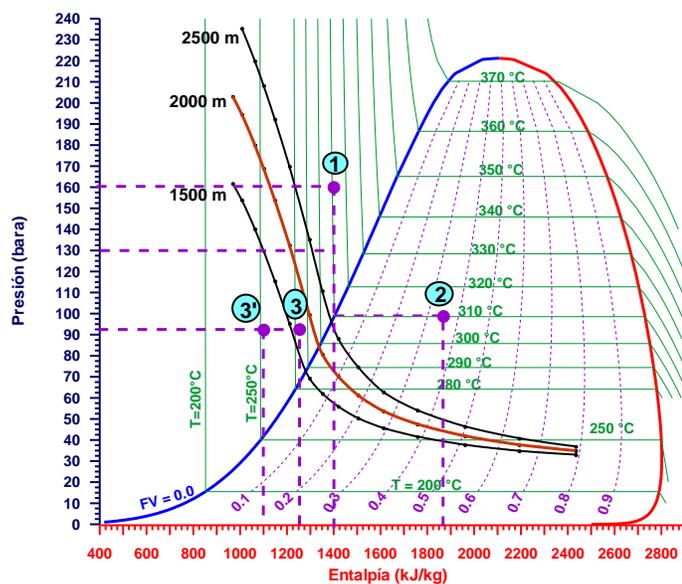


Fig. 5. Diagrama de presión-entalpía en la zona CPISE.

actualmente no hay pozos fluyendo y sólo se cuenta con registros de presión. Así, se estima una entalpía actual de 1000 kJ/kg en la zona CPISE.

De manera general, en el diagrama de la Figura 5 se observa que toda la zona CPISE del yacimiento se encuentra por debajo de las condiciones mínimas para que los pozos perforados en ella puedan producir vapor. Se observa también una reducción en la entalpía debido al enfriamiento de la zona por la entrada de fluidos de menor temperatura, lo que se debe a la pérdida de presión en el yacimiento. Estos fluidos de menor temperatura corresponden a la recarga natural y a los de la inyección en frío, provenientes del pozo E-6 y posiblemente del O-473 (Rodríguez, 2010).

La gráfica de la Figura 5 muestra en el punto 1 las condiciones iniciales del yacimiento en 1980. Entonces la presión era de 160 kg/cm² con entalpía de producción de 1400 kJ/kg, y temperatura del fluido de 310°C (RECP, 2010). En esa época los pozos se encontraban por arriba de las condiciones mínimas que requerían para fluir.

Debido a la extracción de fluidos, en 1989 el campo se despresurizó y el yacimiento evolucionó a dos fases, incrementando la entalpía de producción a 1872 kJ/kg, como se muestra en el punto 2 de la Figura 5. En la última medición de producción realizada en mayo de 2009, la entalpía de producción fue de 1257 kJ/kg y se estimó una presión en el yacimiento de 91 bar a la profundidad de referencia de 2000 m, como se muestra en el punto 3 de la misma figura. El punto 3' representa una estimación de las condiciones actuales de esa zona, ya que

El análisis realizado en esta zona CPISE se ha presentado con detalle para mostrar el procedimiento seguido paso a paso. De esta misma manera se analizaron las zonas CPIISO, CPIISE y CPII-CPIV, que se presentan a continuación.

5. Producción de las zonas CPIISO, CPIISE y CPII-CPIV

Zona CPIISO

La zona (ver Fig. 2 para localización) empezó a ser explotada en 1984 produciendo 432.3 t/h de vapor con 5 pozos integrados y un promedio de 86.45 t/h de vapor por pozo, como se muestra en la Figura 7 (izquierda). En 1989 la producción se incrementó a 666 t/h con 11 pozos integrados, en 2000 se alcanzó el máximo de producción de 745 t/h, con 15 pozos integrados, y en 2009 la producción de vapor cayó hasta 378 t/h, es decir 50.3 toneladas menos que al inicio de su etapa productiva (RECP, 2010). La declinación en los últimos años fue de 40 t/h.

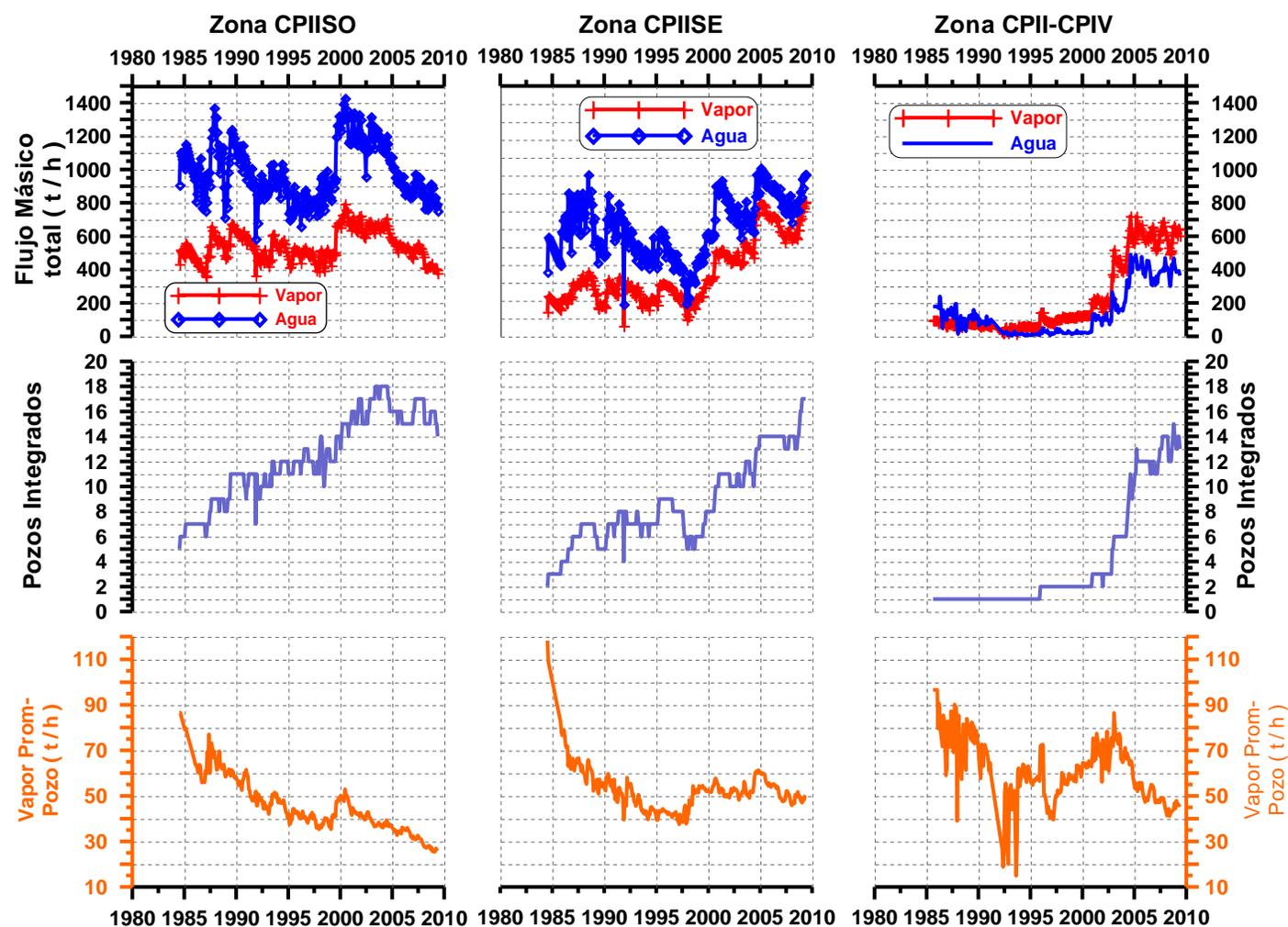


Fig. 6. Evolución de la producción en las zonas CPIISO, CPIISE y CPII-CPIV.

Zona CPIISE

Esta zona inició su producción en 1984 con 236 t/h y 2 pozos en operación, en 2005 incrementó su producción a 830 t/h con 14 pozos en operación, y para mayo de 2009 la producción era de 853 t/h con 17

pozos productores (datos de la RECP, 2010). La producción promedio por pozo se mantiene cerca de las 50 t/h (Fig. 6, centro).

Zona CPII-CPIV

La zona empezó a ser explotada en 1985 con un pozo que producía 96 t/h, en 2005 había 13 pozos integrados con un máximo de producción de 719 t/h, y en mayo de 2009 el ritmo de producción de vapor era de unas 650 t/h con 14 pozos integrados (RECP, 2010), lo cual da un promedio de 45 t/h de vapor por pozo (Fig. 7, derecha).

6. Análisis de presión-entalpía y evolución de las zonas CPIISO, CPIISE y CPII-CPIV

Zona CPIISO

En 1984 el yacimiento en esta zona tenía una presión de 198 kg/cm² y una entalpía de producción de 1339 kJ/kg a una profundidad referente de 2500 m, como se muestra en la gráfica de entalpía-tiempo de la Figura 7 (izquierda). En 1997 la presión cayó a 146 kg/cm², y en mayo de 2009 la presión era de 98 kg/cm², por lo que en 25 años de producción la presión ha caído 100 kg/cm² con un ritmo de abatimiento de 4 kg/cm² por año (datos de la RECP, 2010).

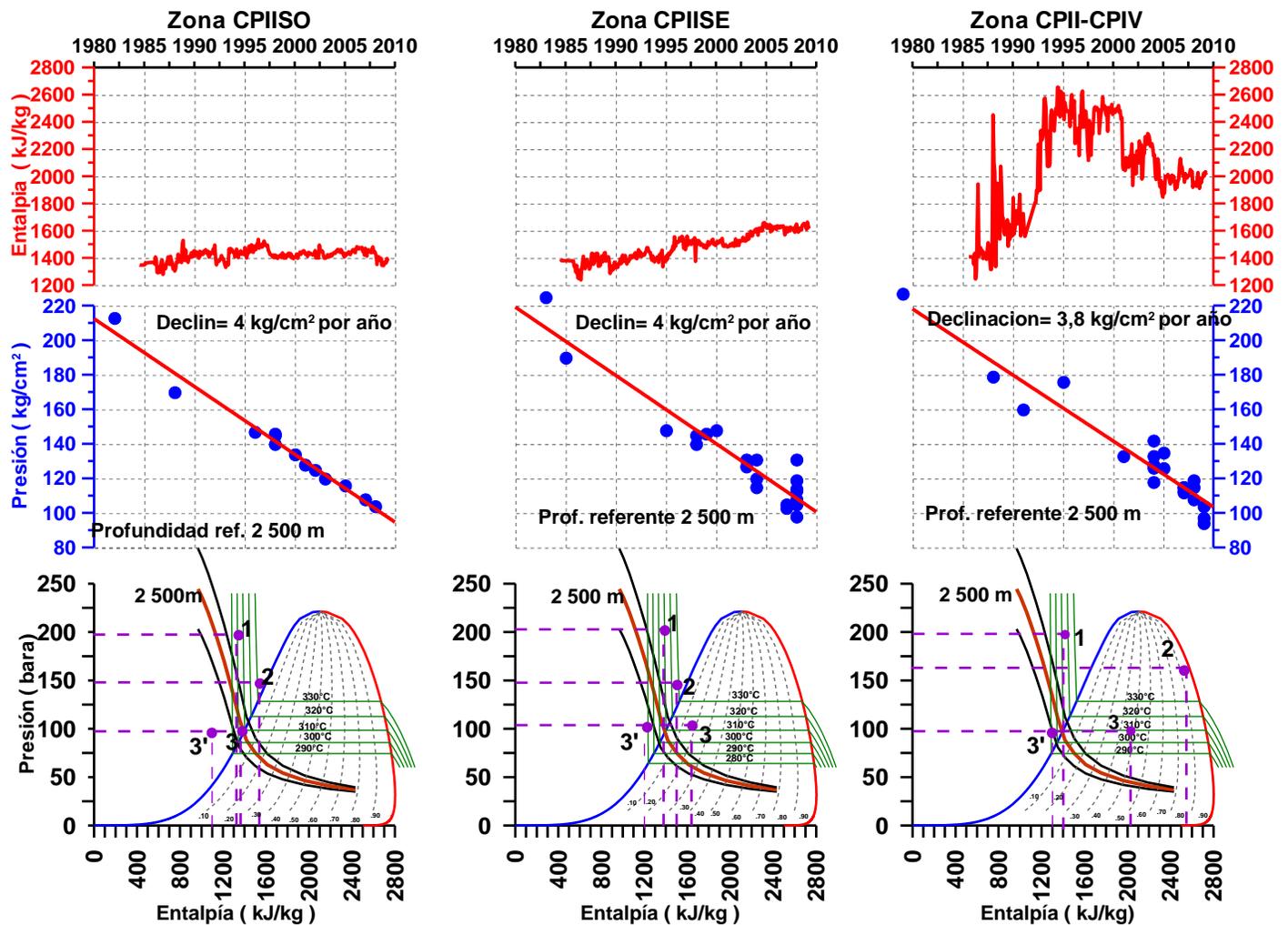


Fig. 7. Diagramas de entalpía y presión a la profundidad de referencia de 2500 m y diagramas de presión-entalpía en las zonas CPIISO, CPIISE y CPII-CPIV.

En el diagrama (Fig. 7, izquierda) se muestran las condiciones mínimas para producir vapor que requiere el yacimiento en la zona a la profundidad de referencia de 2500 m. En el punto número 1 se muestran las condiciones del yacimiento al inicio de su etapa productiva, con una temperatura de 310°C. En el punto 2 se muestran las condiciones del yacimiento en 1997, con una temperatura que se mantiene igual aunque aparenta tener un aumento, pero es debido al incremento de entalpía de producción del fluido debido a la despresurización del yacimiento. En el punto 3 se presentan las condiciones medidas en mayo de 2009, observándose que están en el límite de las condiciones de producción. En el punto 3' se estiman las condiciones que pudiera tener el yacimiento en las áreas de CPIISO que no tienen producción actual, sea por no contar con pozos o porque estos ya no produzcan.

Zona CPIISE

La presión inicial en esta zona en 1984 era de 208 kg/cm², con una entalpía de producción de 1378 kJ/kg a una profundidad referente de 2500 m. En 1997 la presión cayó a 143 kg/cm², y tuvo un incremento de entalpía a 1500 kJ/kg. En mayo de 2009 la entalpía de producción era de 1633 kJ/kg con una presión de yacimiento de 115 kg/cm² (RECP, 2010). El ritmo de declinación de la presión en esta área del yacimiento es 4 kg/cm² por año (Fig. 7, centro).

Reflejando estas condiciones en el diagrama de presión-entalpía de la Figura 8 (centro), en el punto 1 se muestran las condiciones iniciales de producción incluyendo una temperatura de 310°C. En el punto 2 se muestra el incremento de entalpía debido al cambio de fase de líquido dominante a dos fases. En el punto 3 se muestran las condiciones actuales del yacimiento fluyendo, y en el punto 3' las condiciones estimadas de las áreas sin pozos fluyendo.

Zona CPII-CPIV

En 1985 esta zona del campo tenía una presión de 211 kg/cm², con un solo pozo productor, y una entalpía de 1400 kJ/kg. En 1994 la presión cayó a 170 kg/cm² y la entalpía de producción se incrementó a 2550 kJ/kg, pasando de líquido dominante a dos fases con una calidad aproximada de 90% de vapor. Para 2005 había un promedio de 12 pozos integrados, una presión de yacimiento de 130 kg/cm² y 1900 kJ/kg de entalpía de producción. En las últimas mediciones en 2009, la presión del yacimiento era de alrededor de 100 kg/cm² y su entalpía de 2000 kJ/Kg (RECP, 2010), con un ritmo de abatimiento de la presión de 3.8 kg/cm² anuales.

En el diagrama de presión-entalpía (Fig. 8, derecha) el punto 1 representa las condiciones del yacimiento al principio de la explotación, el punto 2 las condiciones en 1994 y el punto 3 representa las condiciones actuales del yacimiento fluyendo. El punto 3' representa una estimación de las condiciones de las áreas de esta zona donde no hay pozos o no se puede medir la entalpía.

7. Conclusión

En este análisis se mostraron las condiciones termodinámicas de cuatro zonas del campo de Cerro Prieto, denominadas como CPISE, CPIISO, CPIISE y CPII-CPIV, cuya ubicación se puede ver en la Figura 1, al inicio de su explotación así como su evolución a través del tiempo y su relación con la producción de vapor.

Los cambios de presión en la zona CPISE permitieron la entrada de fluidos de menor temperatura, provocando enfriamiento y de esta manera una declinación en la entalpía lo que provocó una reducción en la producción. Esta bajó de más de 600 t/h de vapor en 1991, con 9 pozos en operación y una producción media de 67 t/h por pozo, a sólo 118 t/h de vapor con 7 pozos operando (un promedio de 17 t/h por pozo). En esta

zona el diagrama de presión-entalpía indica que las condiciones del yacimiento ya están por debajo del límite para producir vapor de manera económica.

En la zona CPIISO la producción descendió de 432 t/h de vapor en 1984, con 5 pozos en operación, a 378 t/h en mayo de 2009, con 14 pozos operando. La producción promedio por pozo bajó, por tanto de 86 t/h a unas 27 t/h, es decir un abatimiento de casi 60 t/h de vapor a un ritmo de declinación de 2.4 t/h de vapor anuales. La zona está actualmente en el límite de las condiciones económicas de producción.

En las zonas de CPIISE y CPII-CPIV pareciera que la declinación no ha afectado mayormente, debido a que se mantienen los índices productivos, pero actualmente es necesario tener más pozos integrados para producir la misma cantidad de vapor que en años anteriores. Por lo tanto, la producción media por pozo ha descendido de unas 80 t/h en 2002 a poco más de la mitad (45 t/h de vapor) en 2009.

Referencias

- Aguilar-Dumas, A., 2008. Análisis geológico-productivo enfocado a la exploración de la parte oriental del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC. *Geotermia*, Vol. 21, No.1, pp.
- Gutiérrez-Puente, H., and M.H. Rodríguez-R., 2000. Development history of Cerro Prieto (1973-2000). *Transactions fo the Geothermal Resource Council*, Vol. 24, pp. 427-431.
- RECP, 2010. Archivos técnicos de la Residencia de Estudios de Cerro Prieto. Inédito.
- Rodríguez Rodríguez, M.H., 2009. Condiciones termodinámicas mínimas del yacimiento para producir vapor en el campo geotérmico de Cerro Prieto, BC. *Geotermia*, Vol. 22, No. 1, pp.
- Rodríguez Rodríguez, M.H., 2010. Evolución del sector CP-I del yacimiento geotérmico de Cerro Prieto, BC, y alternativas de explotación. *Geotermia*, Vol. 23, No. 1, pp. 2-15.